

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-204024

(43)Date of publication of application : 19.07.2002

(51)Int.Cl. H01S 5/125
G02B 6/42
G02F 1/35

(21)Application number : 2001-300490

(71)Applicant : FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE

(22)Date of filing : 28.09.2001

(72)Inventor : TSUKIJI NAOKI
YOSHIDA JIYUNJI
FUNAHASHI MASAKI

(30)Priority

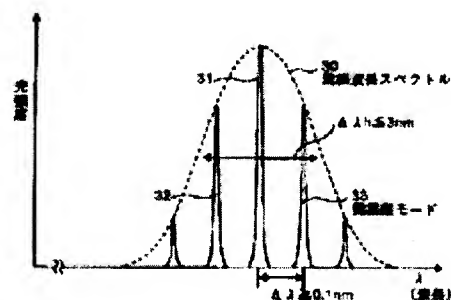
Priority number : 2000323118 Priority date : 23.10.2000 Priority country : JP

(54) SEMICONDUCTOR LASER DEVICE, AND SEMICONDUCTOR LASER MODULE AND RAMAN AMPLIFIER USING IT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a semiconductor laser device that is suited for a light source for a Raman amplifier that is stable and can obtain a high gain, and to provide a semiconductor laser module, and the Raman amplifier using the semiconductor laser module.

SOLUTION: A diffraction grating is provided near an active layer formed between a first reflection film that is provided on the emission end face of a laser beam and a second reflection film that is provided on the reflection end face of the laser beam, and a laser beam including at least two oscillation vertical modes 31-33 within a half-value width $\Delta \lambda h$ of an oscillation wavelength spectral 30 is outputted by combining oscillation parameters including the length of a resonator formed by the active layer and the wavelength selection characteristics of the diffraction grating. In this case, the diffraction grating may be set to a chirped grating for achieving periodical fluctuation, or may be provided at one portion.



*** NOTICES ***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]A diffraction grating is provided near the active layer formed between the 1st reflection film provided in an emitting end surface of a laser beam, and the 2nd reflection film provided in a reflecting end face of this laser beam, A semiconductor laser device outputting a laser beam containing two or more oscillation vertical microfiche in half breadth of an oscillation wavelength spectrum by combination setting out of an oscillation parameter containing cavity length which said active layer forms, and the wavelength selection properties of said diffraction grating.

[Claim 2]The semiconductor laser device according to claim 1, wherein an oscillation wavelength is 1200–1550 nm.

[Claim 3]The semiconductor laser device according to claim 1 or 2, wherein half breadth of said oscillation wavelength spectrum is 3 nm or less.

[Claim 4]A semiconductor laser device of any one description of the Claims 1–3, wherein cavity length which said active layer forms is not less than 800 micrometers.

[Claim 5]A semiconductor laser device of any one description of the Claims 1–4, wherein cavity length which said active layer forms is 3200 micrometers or less.

[Claim 6]A semiconductor laser device of any one description of the Claims 1–5, wherein said diffraction grating gives predetermined periodic fluctuation to grating cycles.

[Claim 7]The semiconductor laser device according to claim 6, wherein said diffraction grating is the grating which was random or was changed with a given period about said grating cycles.

[Claim 8]A semiconductor laser device of any one description of the Claims 1–7, wherein said diffraction grating has the same length as said cavity length along with said active layer.

[Claim 9]A semiconductor laser device of any one description of the Claims 1–8, wherein said diffraction grating is provided in a part in alignment with said active layer.

[Claim 10]said diffraction grating -- said 2nd reflection film side direction [from / near / said / the 1st reflection film of a laser beam] -- or the semiconductor laser device according to claim 9 characterized by fixed length being the prolonged partial diffraction grating along with said active layer in said 1st reflection film side direction near [said] the 2nd reflection film.

[Claim 11]A semiconductor laser device of any one description of the Claims 1–10, wherein said oscillation parameter contains a coupling coefficient of said diffraction grating.

[Claim 12]A semiconductor laser module provided with the semiconductor laser device according to claim 1 to 11, an optical fiber which guides outside a laser beam emitted from said semiconductor laser device, said semiconductor laser device and said optical fiber, and an optical coupling lens system which performs optical coupling.

[Claim 13]The semiconductor laser module according to claim 12 having further a temperature controller which controls temperature of said semiconductor laser device, and an isolator which is arranged in said optical coupling lens system, and controls incidence of return light from the optical fiber side.

[Claim 14]A Raman amplifier using the semiconductor laser device according to claim 1 to 11 or the semiconductor laser module according to claim 12 or 13 as the excitation light source for broadband Raman amplification.

[Claim 15]A Raman amplifier which the semiconductor laser device according to claim 1 to 11 or

the semiconductor laser module according to claim 12 or 13 is the excitation light source for broadband Raman amplification, and is characterized by being used as a light source for forward excitation, or a light source for forward excitation in a bidirectional excitation method.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]This invention relates to a semiconductor laser device suitable for the excitation light source for Raman amplification, a semiconductor laser module, and the Raman amplifier using this.

[0002]

[Description of the Prior Art]In recent years, the demand of large-scale-izing to optical communications is large with the spread of various multimedia including the Internet. Conventionally, in the zone (1310 nm or 1550 nm) which is wavelength with little absorption of light by an optical fiber in optical communications, transmission by respectively single wavelength was common. In this method, in order to transmit many information, the number of cores of the optical fiber constructed to a transmission route needed to be increased, and there was a problem that cost increased with the increase in transmission capacity.

[0003]Then, a dense-wavelength-division-multiplexing (DWDM:Dense-Wavelength Division Multiplexing) communication method came to be used. This DWDM communication method is a method which mainly transmits in the 1550 nm bands which are this operation band using two or more wavelength using an erbium doped fiber amplifier (EDFA:Erbium Doped Fiber Amplifier). It is not necessary to construct a new track from transmitting the lightwave signal of several different wavelength simultaneously using one optical fiber, and makes it possible to bring about the fast increase in network transmission capacity in this DWDM communication method or a WDM communication method.

[0004]With the general WDM communication method using this EDFA, it is put in practical use from the easy 1550 nm bands of profit flattening, and, these days, has expanded even to the 1580 nm bands which were not used since the gain coefficient was small. However, as compared with the zone which can be amplified by EDFA, since the low-loss zone of an optical fiber is larger, concern about the light amplifier which is out of band and operates, i.e., the Raman amplifier, of EDFA is increasing.

[0005]As opposed to a profit wavelength range being decided by the energy level of ion in the light amplifier through rare earth ions [like erbium] whose Raman amplifier is, Arbitrary wavelength ranges can be amplified by having the feature that a profit wavelength range is decided and choosing excitation light wavelength with the wavelength of excitation light.

[0006]If the optical signal of a wavelength band region which about 100 nm of profits appear in the long wavelength side from excitation light wavelength, and has this profit in the optical fiber in this state where it was excited, by stimulated Raman scattering when excitation light strong against an optical fiber is entered in Raman amplification is entered, this optical signal will be amplified. Therefore, the channel number of an optical signal can be made to increase further in the WDM communication method using a Raman amplifier as compared with the communication method which used EDFA.

[0007]Drawing 26 is a block diagram showing the composition of the conventional Raman amplifier used for a WDM communications system. In drawing 26, the semiconductor laser modules 182a-182d in which the semiconductor light emitting elements 180a-180d and the fiber

gratings 181a-181d of Fabry-Perot became a pair, respectively output the laser beam which becomes a basis of excitation light to the polarization-compounds couplers 61a and 61b. Although the wavelength of the laser beam which each semiconductor laser modules 182a and 182b output is the same, 90 degrees of plane of polarization of each laser beam are changed with the polarization-compounds coupler 61a. Although similarly the wavelength of the laser beam which each semiconductor laser modules 182c and 182d output is the same, 90 degrees of plane of polarization of each laser beam are changed with the polarization-compounds coupler 61b. The polarization-compounds couplers 61a and 61b output the laser beam which carried out polarization compounds, respectively to WDM couplers 62. The wavelength of the laser beam outputted from the polarization-compounds couplers 61a and 61b differs.

[0008]WDM couplers 62 multiplex and output the laser beam outputted from the polarization-compounds couplers 61a and 61b to the fiber 64 for amplification as excitation light via WDM couplers 65. It is inputted via the isolator 63 from the optical signal input fiber 69, and the optical signal for amplification multiplexes on the fiber 64 for amplification into which this excitation light was inputted with excitation light, and Raman amplification is carried out to it.

[0009]The optical signal (amplified signal light) by which Raman amplification was carried out into the fiber 64 for amplification is inputted into the coupler 67 for monitor light distribution via WDM couplers 65 and the isolator 66. The coupler 67 for monitor light distribution outputs a part of amplified signal light to the control circuit 68, and outputs it to the optical signal output fiber 70 by making the remaining amplified signal lights into an outputted ray.

[0010]The control circuit 68 controls an each semiconductor light emitting elements [180a-180d] luminescent state, for example, light intensity, based on some inputted amplified signal lights, and it carries out feedback control so that the gain band of Raman amplification may serve as the flat characteristic.

[0011]Drawing 27 is a figure showing the outline composition of the semiconductor laser module which used the fiber grating. In drawing 27, this semiconductor laser module 201 has the semiconductor light emitting element 202 and the optical fiber 203. The semiconductor light emitting element 202 has the active layer 221. As for the active layer 221, the light reflection surface 222 is established in one end, and the light emitting surface 223 is established in the other end. It reflects in the light reflection surface 222, and the light produced within the active layer 221 is outputted from the light emitting surface 223.

[0012]To the light emitting surface 223 of the semiconductor light emitting element 202, the placed opposite of the optical fiber 203 is carried out, and optical coupling is carried out to the light emitting surface 223 in it. The fiber grating 233 is formed in a prescribed position from the light emitting surface 223, and, as for the fiber grating 233, the light of a specified wavelength is selectively reflected in the core 232 in the optical fiber 203. That is, it functions as an external resonator, a resonator is formed between the fiber grating 233 and the light reflection surface 222, the laser beam of a specified wavelength with the selected fiber grating 233 is amplified, and the fiber grating 233 is outputted as the output laser beam 241.

[0013]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]However, the semiconductor laser module 201 (182a-182d) mentioned above, Since the interval of the fiber grating 233 and the semiconductor light emitting element 202 is long, relative intensity noise (RIN:Relative Intensity Noise) becomes large by resonance between the fiber grating 233 and the light reflection surface 222. This is because a peak value occurs for every frequency corresponding to the round trip time of the light between the light reflection surface 222 of the semiconductor light emitting element 202, and the fiber grating 233 in a RIN spectrum. Since the process which amplification produces happens early by Raman amplification here, if excitation light intensity is swinging, Raman gain will also swing, fluctuation of this Raman gain will be outputted as fluctuation of the signal strength amplified as it was, and there was a problem of the ability not to make the stable Raman amplification perform.

[0014]The semiconductor laser module 201 mentioned above, While carrying out optical coupling of the optical fiber 203 with the fiber grating 233, and the semiconductor light emitting element 202 and applying time and a labor to optic-axis doubling at the time of an assembly, Since it was

the mechanical optical coupling in a resonator, there was a problem that the case where there is a possibility that the oscillation characteristic of laser may change with mechanical oscillation etc., and the stable excitation light cannot be provided arose.

[0015] There is a bidirectional excitation method excited from the forward excitation method and both directions which are excited from the front to an optical signal besides the back excitation method excited from back to an optical signal like the Raman amplifier shown in drawing 26 as a Raman amplifier. Now, the back excitation method is used abundantly as a Raman amplifier. This is because fluctuation of excitation light intensity tends to move to an optical signal, and nonlinear effects, such as 4 light-wave mixing, happen easily in the forward excitation method which advances in the direction with excitation light with a strong weak optical signal and there is a problem that the polarization dependency of excitation light appears easily, further. Therefore, the appearance of the stable excitation light source applicable also to a forward excitation method is demanded. That is, when the semiconductor laser module using the conventional fiber grating was used, there was a problem that an applicable excitation method was restricted.

[0016] In the Raman amplification in a Raman amplifier, on condition that the polarization direction of an optical signal and the polarization direction of excitation light are in agreement, it carries out. That is, there is polarization dependency of amplification gain and it is necessary to make small influence by the gap with the polarization direction of an optical signal, and the polarization direction of excitation light in Raman amplification. Here, since an optical signal becomes random in polarization during propagation in the case of a back excitation method, a problem is not produced, but when it is a forward excitation method, polarization dependency is strong and needs to make polarization dependency small by cross polarization composition of excitation light, a DEBORA rise, etc. That is, it is necessary to make a polarization degree (DOP: Degree Of Polarization) small.

[0017] Since the amplification factor of Raman amplification obtained was comparatively low, an appearance of the high-output excitation light source for Raman amplification was desired.

[0018] This invention was made in view of the above, and is stabilized, and it aims at providing a semiconductor laser device and a semiconductor laser module suitable for the light source for Raman amplifiers which can obtain high gain.

[0019]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, a semiconductor laser device concerning Claim 1, A diffraction grating is provided near the active layer formed between the 1st reflection film provided in an emitting end surface of a laser beam, and the 2nd reflection film provided in a reflecting end face of this laser beam, A laser beam containing two or more oscillation vertical microfiche is outputted in half breadth of an oscillation wavelength spectrum by combination setting out of an oscillation parameter containing cavity length which said active layer forms, and the wavelength selection properties of said diffraction grating.

[0020] According to the invention of this Claim 1, a diffraction grating is provided near the active layer formed between the 1st reflection film provided in an emitting end surface of a laser beam, and the 2nd reflection film provided in a reflecting end face of this laser beam, By combination setting out of an oscillation parameter containing cavity length which said active layer forms, and the wavelength selection properties of said diffraction grating. He is trying to output a laser beam which wavelength is stabilized and contains more preferably two or more of four or more oscillation vertical microfiche three or more in half breadth of an oscillation wavelength spectrum.

[0021] A semiconductor laser device concerning Claim 2 is characterized by an oscillation wavelength being 1200–1550 nm in the above-mentioned invention.

[0022] According to the invention of this Claim 2, an oscillation wavelength shall be 1200–1550 nm, and it is made to perform Raman amplification of an optical signal of a wavelength band region suitable for a transmission band of an optical fiber. Concretely, when an oscillation wavelength is 1200–1550 nm, a profit wavelength band region of Raman amplification is set to 1300–1650 nm.

[0023]A semiconductor laser device concerning Claim 3 is characterized by half breadth of said oscillation wavelength spectrum being 3 nm or less in the above-mentioned invention.

[0024]According to the invention of this Claim 3, half breadth of said oscillation wavelength spectrum shall be 3 nm or less, and it is made to make small a multiplexing loss at the time of carrying out wavelength composition.

[0025]Cavity length in which said active layer forms a semiconductor laser device concerning Claim 4 in the above-mentioned invention is characterized by being not less than 800 micrometers.

[0026]The number of oscillation vertical microfiche contained in half breadth of said oscillation wavelength spectrum is made to increase by cavity length which said active layer forms being not less than 800 micrometers, and shortening mode spacing of oscillation vertical microfiche according to the invention of this Claim 4.

[0027]Cavity length in which said active layer forms a semiconductor laser device concerning Claim 5 in the above-mentioned invention is characterized by being 3200 micrometers or less.

[0028]Cavity length which said active layer forms shall be 3200 micrometers or less, mode spacing of oscillation vertical microfiche shall be 0.1 nm or more, and he is trying to reduce influence of an derivation Brillouin scattering at the time of Raman amplification according to the invention of this Claim 5.

[0029]A semiconductor laser device concerning Claim 6 gave periodic fluctuation predetermined in said diffraction grating to grating cycles in the above-mentioned invention.

[0030]He gives predetermined periodic fluctuation to grating cycles of said diffraction grating, and is trying to expand half breadth of an oscillation wavelength spectrum by this according to the invention of this Claim 6.

[0031]A semiconductor laser device concerning Claim 7 is characterized by said diffraction grating being the grating which was random or was changed with a given period about said grating cycles in the above-mentioned invention.

[0032]Said grating cycles are made into random or a grating changed with a given period for said diffraction grating, and he makes a diffraction grating generate periodic fluctuation, and is trying to expand half breadth of an oscillation wavelength spectrum by this according to the invention of this Claim 7.

[0033]In the above-mentioned invention, as for a semiconductor laser device concerning Claim 8, said diffraction grating has the same length as said cavity length along with said active layer.

[0034]According to the invention of this Claim 8, said diffraction grating is made into the same length as said cavity length along with said active layer, and manufacture of the semiconductor laser device concerned is made easy.

[0035]A semiconductor laser device concerning Claim 9 is formed in a part where said diffraction grating met said active layer in the above-mentioned invention.

[0036]He changes the length of a diffraction grating and is trying to expand half breadth of an oscillation wavelength spectrum by this by providing said diffraction grating in a part in alignment with said active layer according to the invention of this Claim 9.

[0037]A semiconductor laser device concerning Claim 10, in the above-mentioned invention -- said diffraction grating -- said 2nd reflection film side direction [from / near / said / the 1st reflection film of a laser beam] -- or along with said active layer, it is characterized by fixed length being the prolonged partial diffraction grating in said 1st reflection film side direction near [said] the 2nd reflection film.

[0038]According to the invention of this Claim 10, said diffraction grating to said 2nd reflection film side direction near [said] the 1st reflection film of a laser beam to or said 1st reflection film side direction near [said] the 2nd reflection film. Consider it as a partial diffraction grating which was prolonged along with said active layer as for fixed length, and half breadth of an oscillation wavelength spectrum is changed by changing half breadth of a reflexogenic-zone region of this partial diffraction grating by the length of a partial diffraction grating. While performing plurality-ization of the number of oscillation vertical microfiche contained in this half breadth, he is trying to provide a partial diffraction grating in the 1st reflection film or 1st reflection film side corresponding to height of reflectance at this time.

[0039]In the above-mentioned invention, as for a semiconductor laser device concerning Claim 11, said oscillation parameter contains a coupling coefficient of said diffraction grating.

[0040]According to the invention of this Claim 11, half breadth of an oscillation wavelength spectrum is changed and it is made to perform plurality-ization of the number of oscillation vertical microfiche contained in this half breadth by making it include a coupling coefficient of said diffraction grating in said oscillation parameter, and changing a coupling coefficient of this diffraction grating.

[0041]A semiconductor laser module concerning Claim 12, It had the semiconductor laser device according to claim 1 to 11, an optical fiber which guides outside a laser beam emitted from said semiconductor laser device, said semiconductor laser device and said optical fiber, and an optical coupling lens system which performs optical coupling.

[0042]Since a resonator of this semiconductor laser device is not physically separated using a semiconductor laser device which does not use a fiber grating according to the invention of this Claim 12, a laser beam where the oscillation characteristic of laser becomes difficult to change, and was stabilized by mechanical oscillation etc. while optic-axis doubling etc. did not need to be performed and an assembly of a semiconductor laser module became easy -- reliability -- it can be high, and can stabilize and output.

[0043]A semiconductor laser module concerning Claim 13 was further provided with a temperature controller which controls temperature of said semiconductor laser device, and an isolator which is arranged in said optical coupling lens system, and controls incidence of return light from the optical fiber side in the above-mentioned invention.

[0044]According to the invention of this Claim 13, since a semiconductor laser device which does not use a fiber grating is used, unlike a polarization-independent type of an in-line type, a small polarization-independent type isolator can be used and a small semiconductor laser module of insertion loss can be realized.

[0045]The semiconductor laser device according to claim 1 to 11 or the semiconductor laser module according to claim 12 or 13 was used for a Raman amplifier concerning Claim 14 as the excitation light source for broadband Raman amplification.

[0046]According to the invention of this Claim 14, the semiconductor laser device according to claim 1 to 11, Or he is trying to do so each semiconductor laser device mentioned above or a operation effect of each semiconductor laser module, using the semiconductor laser module according to claim 12 or 13 as the excitation light source for broadband Raman amplification.

[0047]A Raman amplifier concerning Claim 15 the semiconductor laser device according to claim 1 to 11 or the semiconductor laser module according to claim 12 or 13, It is the excitation light source for broadband Raman amplification, and is used as a light source for forward excitation, or a light source for forward excitation in a bidirectional excitation method.

[0048]According to the invention of this Claim 15, the semiconductor laser device according to claim 1 to 11, Or the semiconductor laser module according to claim 12 or 13, It is the excitation light source for broadband Raman amplification, and he uses as a light source for forward excitation, or a light source for forward excitation in a bidirectional excitation method, and is trying to do so each semiconductor laser device mentioned above or a operation effect of each semiconductor laser module.

[0049]

[Embodiment of the Invention]With reference to an accompanying drawing, the suitable embodiment of the semiconductor laser device concerning this invention and a semiconductor laser module is described below.

[0050](Embodiment 1) This embodiment of the invention 1 is described first. Drawing 1 is the fracture figure seen from the slant which shows the outline composition of the semiconductor laser device which is this embodiment of the invention 1. Drawing 2 is drawing of longitudinal section of the longitudinal direction of the semiconductor laser device shown in drawing 1. Drawing 3 is an A-A line sectional view of the semiconductor laser device shown in drawing 2. In drawing 1 - drawing 3, this semiconductor laser device 20, On the field (100) of n-InP substrate 1, one by one, The buffer layer and lower clad layer by n-InP. n-InP buffer layer 2, GRIN-SCH-MQW both as which it served. (Graded Index-Separate.) Confinement Heterostructure Multi

Quantum Well: It has the structure where the distribution refractive-index separation trapping multiplex quantum well active layer 3, the p-InP spacer layer 4 and the p-InP cladding layer 6, and the InGaAsP contact layer 7 were laminated.

[0051]The diffraction grating 13 of p-InGaAsP with 20 nm of thickness is periodically formed in the pitch of about 220 nm, and he is trying to choose a laser beam with a center wavelength of 1.48 micrometers into the p-InP spacer layer 4. The upper part of the p-InP spacer layer 4 containing this diffraction grating 13, GRIN-SCH-MQW active layer 3, and n-InP buffer layer 2, It is processed in the shape of a mesa stripe, and the both sides of the mesa stripe are embedded by the p-InP blocking layer 8 and the n-InP blocking layer 9 which were formed as a current blocking layer. The p lateral electrode 10 is formed in the upper surface of the InGaAsP contact layer 7, and the n lateral electrode 11 is formed in the rear face of n-InP substrate 1.

[0052]The reflection film 14 with the Takamitsu reflectance of not less than 80% of reflectance is formed in the light reflex end face which is an end surface of the longitudinal direction of the semiconductor laser device 20, and the outgoing radiation side reflection film 15 in which reflectance has a rate of a low light reflex of 5% or less is formed in the light emitting end side which is an other end face. It reflects with the reflection film 14 and the light generated in GRIN-SCH-MQW active layer 3 of the optical resonator formed with the reflection film 14 and the outgoing radiation side reflection film 15 is emitted as a laser beam via the outgoing radiation side reflection film 15.

[0053]Oscillation wavelength λ_0 are 1200 nm – 1550 nm, and the semiconductor laser device 20 in this Embodiment 1 is setting cavity length L to not less than 800 micrometers 3200 micrometers or less. By the way, generally, mode spacing $\Delta\lambda$ of the vertical microfiche generated with the resonator of a semiconductor laser device can be expressed with a following formula, if an equivalent refractive index is set to "n." Namely, $\Delta\lambda = \lambda_0^2 / (2nL)$

It comes out. Here, when oscillation wavelength λ_0 shall be 1480 nm, an equivalent refractive index is set to 3.5 and the cavity length L is 800 micrometers, mode spacing $\Delta\lambda$ of vertical microfiche is set to about 0.39 nm, and when the cavity length L is 3200 micrometers, mode spacing $\Delta\lambda$ of vertical microfiche is set to about 0.1 nm. That is, as cavity length L is lengthened, mode spacing $\Delta\lambda$ of vertical microfiche becomes narrow, and the selection condition for oscillating the laser beam of single vertical mode becomes severer.

[0054]On the other hand, the diffraction grating 13 chooses vertical microfiche with the Bragg wavelength. The selection wavelength characteristic by this diffraction grating 13 is expressed as the oscillation wavelength spectrum 30 shown in drawing 4.

[0055]He is trying to make two or more oscillation vertical microfiche exist in this Embodiment 1 in the wavelength selection properties shown with the half breadth $\Delta\lambda_{1/2}$ of the oscillation wavelength spectrum 30 by a semiconductor laser device with the diffraction grating 13, as shown in drawing 4. In drawing 4, it has the three oscillation vertical microfiche 31–33 in the half breadth $\Delta\lambda_{1/2}$ of an oscillation wavelength spectrum.

[0056]A high laser output value can be obtained by the whole oscillation wavelength spectrum, holding down the peak value of the laser output of each oscillation vertical microfiche as compared with the case where the laser beam of single vertical mode is used, if the laser beam which has two or more oscillation vertical microfiche is used. For example, in the semiconductor laser device shown in this Embodiment 1, it has a profile shown in drawing 5 (b), and a high laser output can be obtained with a low peak value. On the other hand, drawing 5 (a) is a profile of the semiconductor laser device of the single vertical mode oscillation in the case of obtaining the same laser output, and has a high peak value.

[0057]Here, when using a semiconductor laser device as a light source for excitation of a Raman amplifier, in order to enlarge Raman gain, it is preferred to increase excitation light output power, but if the peak value is high, an derivation Brillouin scattering will occur and the fault that noise increases will occur. When it has the threshold P_{th} which an derivation Brillouin scattering

generates and obtains the same laser output power, as shown in drawing 5 (b), generating of an derivation Brillouin scattering. It becomes possible by giving two or more oscillation vertical microfiche, and holding down the peak value to be able to obtain high excitation light output power and to obtain high Raman gain as a result within the threshold P_{th} of an derivation Brillouin scattering.

[0058]Wavelength interval (mode spacing) $\Delta\lambda$ of the oscillation vertical microfiche 31-33 may be 0.1 nm or more. When the semiconductor laser device 20 is used for this as a light source for excitation of a Raman amplifier, an derivation Brillouin scattering is suppressed as mode spacing $\Delta\lambda$ is 0.1 nm or more. As a result, it will be preferred that the cavity length L mentioned above by the formula of mode spacing $\Delta\lambda$ mentioned above is 3200 micrometers or less. If the spectrum of an derivation Brillouin scattering is about 0.1 nm and two or more oscillation vertical microfiche exists in the spectrum of this derivation Brillouin scattering, even if each oscillation vertical microfiche does not exceed the threshold P_{th} of an derivation Brillouin scattering. The threshold P_{th} of an derivation Brillouin scattering may be exceeded by the sum of the intensity of two or more oscillation vertical microfiche which exists in this spectral band width. For this reason, it is desirable for other oscillation vertical microfiche not to exist within the limits of 0.1 nm.

[0059]As for the number of the oscillation vertical microfiche contained in the half breadth $\Delta\lambda_{1/2}$ of the oscillation wavelength spectrum 30 from such a viewpoint, it is desirable that it is plurality. By the way, in Raman amplification, since amplification gain has polarization dependency, it is necessary to make small influence by the gap with the polarization direction of an optical signal, and the polarization direction of excitation light. Methods for this include the method of no polarizing-izing (DEPORA rise) for excitation light, and it specifically, There is a method of making this plane-of-polarization maintenance fiber spread the laser beam to which the outputted ray from the two semiconductor laser devices 20 was emitted from the one semiconductor laser device 20 using the plane-of-polarization maintenance fiber of specified length as a depolarizer besides a method. Since the coherency of a laser beam becomes low as the method of polarize[no]-izing as the number of oscillation vertical microfiche increases in using the latter method, the length of a plane-of-polarization maintenance fiber required for polarize[no]-izing can be shortened. If oscillation vertical microfiche becomes 4 or 5 especially, the length of a required plane-of-polarization maintenance fiber will become short rapidly. Therefore, in order to use it for a Raman amplifier, when no polarizing-izing [the laser beam emitted from the semiconductor laser device 20], even if the polarization compounds of the emitted light of two semiconductor laser devices are carried out and it does not use it, Since it becomes easy to nothing-polarization-ize the outgoing radiation laser beam of the one semiconductor laser device 20, and to use it, reduction of the number of parts used for a Raman amplifier and a miniaturization can be promoted.

[0060]If oscillation wavelength spectral band width is too wide, while the multiplexing loss by a wavelength composition coupler will become large, noise and profit change are made generated here by motion of the oscillation vertical microfiche in oscillation wavelength spectral band width. For this reason, 3 nm or less of half breadth $\Delta\lambda_{1/2}$ of the oscillation wavelength spectrum 30 needs to be 2 nm or less preferably.

[0061]Since it was considered as the semiconductor laser module using a fiber grating in the conventional semiconductor laser device as shown in drawing 15, Relative intensity noise (RIN) becomes large by resonance between the fiber grating 233 and the light reflection surface 222, Although stable Raman amplification cannot be performed, in the semiconductor laser device 20 shown in this Embodiment 1. Since the laser beam emitted from the outgoing radiation side reflection film 15 is used as a light source for excitation of a Raman amplifier as it is not using the fiber grating 233, relative intensity noise can become small, as a result, fluctuation of Raman gain can become small, and the stable Raman amplification can be made to perform.

[0062]In the semiconductor laser module shown in drawing 27. The weak laser beam amplified by the resonator structure which the light reflection surface 222 and the light emitting surface 223 of the semiconductor light emitting element 202 form is outputted, Although the laser beam chosen by the light reflection surface 222 and the fiber grating 233 was originally affected, the

kink was produced on the inrush current-optical power characteristic and there was fault of making optical power unstable. In the semiconductor laser device 20 of this Embodiment 1, since the fiber grating 233 is not used, the stable optical power can be obtained. As a result, when using as a light source for excitation of a Raman amplifier, the stable Raman amplification can be made to perform.

[0063]In the semiconductor laser module shown in drawing 27. In order to carry out optical coupling of the optical fiber 203 and the semiconductor light emitting element 202 which have the fiber grating 233, optic-axis doubling at the time of the assembly of a semiconductor laser device is needed, and the time and the labor for it are applied, but. In the semiconductor laser device of this Embodiment 1, since it is optic-axis doubling for the optical power instead of a resonator, that assembly becomes easy. In the semiconductor laser module shown in drawing 27, since a mechanical combination is needed in a resonator, the case where the oscillation characteristic of laser changes with vibration etc. occurs, but. In the semiconductor laser device of this Embodiment 1, there is no change of the oscillation characteristic of the laser by mechanical vibration etc., and the stable optical power can be obtained.

[0064]When according to this Embodiment 1 the semiconductor laser device 20 performs wavelength selection, uses an oscillation wavelength as a 1200–1550-micrometer belt and uses cavity length L as an 800–3200-micrometer belt by the diffraction grating 13. Since he is trying to output two or more oscillation vertical microfiche and the laser beam which has four or more oscillation vertical microfiche preferably in the half breadth $\Delta\lambda$ of the oscillation wavelength spectrum 30, When it uses as a light source for excitation of a Raman amplifier, without generating an derivation Brillouin scattering, it is stabilized and high Raman gain can be obtained.

[0065]Since optical coupling of an optical fiber and a semiconductor light emitting element with a fiber grating is not performed in a resonator like the semiconductor laser module using a fiber grating, an assembly becomes easy and the unstable output by mechanical oscillation etc. can be avoided.

[0066](Embodiment 2) Below, this embodiment of the invention 2 is described. Although it is made [two or more / by lengthening cavity length L / in Embodiment 1 mentioned above / the number of vertical microfiche in the half breadth $\Delta\lambda$ of the oscillation wavelength spectrum 30], The half breadth $\Delta\lambda$ of the oscillation wavelength spectrum 30 is changed, and it is made [two or more / the number of vertical microfiche in the half breadth $\Delta\lambda$ / this / by changing the grating length LG or coupling coefficient of the diffraction grating 13 / in this Embodiment 2 / relatively].

[0067]Drawing 6 is drawing of longitudinal section of a longitudinal direction showing the outline composition of the semiconductor laser device which is this embodiment of the invention 2. This semiconductor laser device differs in the reflectance of the outgoing radiation side reflection film 15 while differing in the composition of the diffraction grating 43 corresponding to the diffraction grating 13 of the semiconductor laser device 20 shown in drawing 1 – drawing 3 from the semiconductor laser device 20. Other composition is the same as the semiconductor laser device 20, and gives identical codes to the identical configuration portion.

[0068]The diffraction grating 43 is formed by 1 specified length LG towards the reflection film 14 side which has the Takamitsu reflectance of not less than 80% of reflectance from the outgoing radiation side reflection film 15 with the rate of a low light reflex of 0.1 to 2% of reflectance, and the diffraction grating 43 is not formed in p-InP spacer layers 4 other than specified length LG1.

[0069]Drawing 7 is drawing of longitudinal section of a longitudinal direction showing the outline composition of the semiconductor laser device which is a modification of this embodiment of the invention 2. This semiconductor laser device is replaced with the diffraction grating 43 shown in drawing 6, and it makes reflectance of the reflection film 14 the rate of a low light reflex while it has the diffraction grating 44 provided in the reflection film 14 side. That is, the diffraction grating 44 is formed by 2 specified length LG towards the outgoing radiation 15 side which has a rate of a low light reflex of 1 to 5% of reflectance from the reflection film 14 with the rate of a low light reflex of 0.1 to 2% of reflectance, and the diffraction grating 44 is not formed in p-InP spacer layers 4 other than specified length LG2.

[0070] Drawing 8 is drawing of longitudinal section of a longitudinal direction showing the outline composition of the semiconductor laser device which is a modification of this embodiment of the invention 2. This semiconductor laser device applies the composition of the diffraction grating 44 shown in the diffraction grating 43 shown in drawing 6, and drawing 7.

[0071] That is, this semiconductor laser device is provided with the following.

The diffraction grating 45 formed by 3 specified length LG towards the reflection film 14 side with the rate of a low light reflex of 0.1 to 2% of reflectance from the outgoing radiation side reflection film 15 with the rate of a low light reflex of 0.1 to 2% of reflectance.

The diffraction grating 46 formed by 4 specified length LG towards the outgoing radiation side reflection film 15 side from this reflection film 14.

[0072] Even if mode spacing $\Delta\lambda$ of oscillation vertical microfiche is fixed by changing the specified length LG1-LG4 of the diffraction gratings 43-46 shown in drawing 6 - drawing 8, the half breadth $\Delta\lambda_{\text{half}}$ of the oscillation wavelength spectrum 30 shown in drawing 4 can be changed.

[0073] That is, in order to make large half breadth $\Delta\lambda_{\text{half}}$ of the oscillation wavelength spectrum 30, it is also effective to shorten the length of a diffraction grating. For this reason, a diffraction grating is not given to the whole length of a resonator (GRIN-SCH-MQW active layer 3), but it is made to form in a part of this resonator, as shown in Embodiment 1.

[0074] Depending on in this case, the position of the diffraction grating to a resonator. Since there is a possibility that a phase oscillating condition may shift and laser oscillation characteristics may get worse by this, As shown in drawing 6, the diffraction grating 43 with the outgoing radiation side reflection film 15 as the starting point in the reflection film 14 direction. When extending and forming to the middle of a resonator, the low light reflex coat which has the reflectance of 0.1 to 2% as the outgoing radiation side reflection film 15 is given, and it is made to give the high reflection coat which has the reflectance of not less than 80% as the reflection film 14. As shown in drawing 7, the diffraction grating 44 with the reflection film 14 as the starting point in the outgoing radiation side reflection film 15 direction. giving the low light reflex coat which has the reflectance of 0.1 to 2% as the reflection film 14, when extending and forming to the middle of a resonator -- as the outgoing radiation side reflection film 15 -- the reflectance of 1 to 5% of reflectance -- a basis -- it is made to give a low reflection coat. As shown in drawing 8, when forming the diffraction gratings 45 and 46 in the outgoing radiation side reflection film 15 and reflection film 14 side, respectively, the low light reflex coat of 0.1 to 2% of reflectance is both given as the outgoing radiation side reflection film 15 and the reflection film 14.

[0075] When forming a diffraction grating in the reflection film 14 side as were shown in drawing 6, and the reflectance of diffraction grating 43 the very thing is set up lowness and it was shown in drawing 7, when a diffraction grating was formed in the outgoing radiation side reflection film 15 side, it is preferred to set up more highly the reflectance of diffraction grating 44 the very thing. As shown in drawing 8, when forming a diffraction grating in the both sides of the outgoing radiation side reflection film 15 and reflection film 14 side, the reflectance of diffraction grating 45 the very thing is set up lowness, and the reflectance of diffraction grating 46 the very thing is set up more highly. Influence of the Fabry-Perot resonator by the reflection film 14 and the outgoing radiation side reflection film 15 can be made small, satisfying the wavelength selection properties by the diffraction gratings 43-46 by this.

[0076] With the semiconductor laser device shown in drawing 6, concretely. Oscillation wavelength λ_0 is 1480 nm, the cavity length L is 1300 micrometers, and grating length LG1 of the diffraction grating 43 is [product κ_{LG} and LG1 of 220 micrometers coupling coefficient κ_{LG} (cm^{-1}), and grating length LG1] 0.093. In the semiconductor laser device shown in drawing 7, the cavity length L is 1300 micrometers and grating length LG2 of the diffraction grating 44 is [product κ_{LG} and LG2 of 400 micrometers, coupling coefficient κ_{LG} , and grating length LG2] 2.97. When such diffraction gratings 43 and 44 are applied, the

half breadth $\delta\lambda$ of the oscillation wavelength spectrum 30 can be set to 1–2 nm, and can include about 3–5 oscillation vertical microfiche in the half breadth $\delta\lambda$.

[0077] Here, drawing 9 is the spectrum figure where two or more oscillation vertical microfiche was outputted, and is outputting the laser beam with three stable oscillation vertical microfiche in drawing 9. The spectrum shown in drawing 9 corresponds to the composition of the semiconductor laser device shown in drawing 6. The grating length LG of 1= 100 micrometers, L= 1300 micrometers of cavity length, 0.1%, when the reflectance of the reflection film 14 is 97% and driving current I_{op} =700mA, the reflectance of product κ_{LG} and LG1=0.11 of coupling

coefficient κ_{LG} of a diffraction grating and grating length LG1 and the outgoing radiation side reflection film 15, Obtaining 210–mW optical power with the oscillation vertical microfiche output of three in about 1480 nm, the half breadth $\delta\lambda$ has become 0.5–0.6 nm. In this case, half breadth with horizontal half breadth (FWHM: Full Width Half Maximum) of the far field pattern (FFP: Far Field Pattern) which can be set will be 16 to 18 degrees, and vertical half breadth will be 21 to 24 degrees.

[0078] Drawing 10 corresponds to the composition of the semiconductor laser device shown in drawing 6, Coupling coefficient κ_{LG} =20-cm⁻¹ of the grating length LG of 1= 30 micrometers, L= 1300 micrometers of cavity length, and a diffraction grating, It is a figure showing the I–L (optical power P_o to driving current I_{op}) characteristic of product κ_{LG} and LG1=0.06 of coupling coefficient κ_{LG} and grating length LG1. The I–L characteristic shown in drawing 11 shows that a big kink does not occur, but the driving current I_{op} is stabilized and can perform about 400–mW high power and efficient operation at about 1200 mA from about ten mA to about 1500 mA.

[0079] Although the diffraction gratings 43–46 were formed in the outgoing radiation side reflection film 15, reflection film 14 or outgoing radiation side reflection film 15, and reflection film 14 side in drawing 6 – drawing 8, It may be made to form the diffraction grating which has partial length to the cavity length L not only along with this but along with GRIN–SCH–MQW active layer 3. However, it is preferred to take the reflectance of a diffraction grating into consideration.

[0080] By making partial the length of the diffraction grating to the cavity length L, and changing appropriately the grating length LG of this diffraction grating, and coupling coefficient κ_{LG} in this Embodiment 2, The half breadth $\delta\lambda$ of the desired oscillation wavelength spectrum 30 can be obtained, the laser beam which had two or more oscillation vertical microfiche in this half breadth $\delta\lambda$ can be oscillated, and a semiconductor laser device with the same operation effect as Embodiment 1 can be realized.

[0081] (Embodiment 3) Below, this embodiment of the invention 3 is described. Although the grating cycles of the diffraction grating 13 were constant in Embodiment 1 mentioned above, In this Embodiment 3, the grating cycles of the diffraction grating 13 using the chirped grating changed periodically by this. The wavelength selection properties of a diffraction grating are made to generate fluctuation, the half breadth $\delta\lambda$ of the oscillation wavelength spectrum 30 is expanded, and it is made [two or more / the number of oscillation vertical microfiche in the half breadth $\delta\lambda$ / relatively]. That is, the half breadth $\delta\lambda$ is expanded to the half breadth w_c , and the number of the oscillation vertical microfiche contained in the half breadth w_c is made to increase, as shown in drawing 11.

[0082] Drawing 12 is drawing of longitudinal section of a longitudinal direction showing the outline composition of the semiconductor laser device which is this embodiment of the invention 3. In this semiconductor laser device, it has the diffraction grating 47 which is the chirped grating to which the grating cycles of the diffraction grating 13 of the semiconductor laser device 20 shown in drawing 1 – drawing 3 were changed periodically. Other composition is the same as the semiconductor laser device 20, and gives identical codes to the identical configuration portion.

[0083] Drawing 13 is a figure showing the periodic change of the grating cycles of the diffraction grating 47. As shown in drawing 13, a mean wave period is 220 nm and this diffraction grating 47 has the structure which repeats **0.02–nm periodic fluctuation (deviation) the cycle C. By this

****0.02-nm** periodic fluctuation, the reflexogenic-zone region of the diffraction grating 47 has the half breadth of about 2 nm, and can give about 3–6 oscillation vertical microfiche in the half breadth $\Delta\lambda$ of an oscillation wavelength spectrum by this.

[0084]Although he was trying to form a chirped grating equal to the cavity length L in Embodiment 3 mentioned above, it may be made to arrange the diffraction grating of a chirped grating selectively to the cavity length L , as shown not only in this but in Embodiment 2. That is, it may be made to apply the chirped grating shown in Embodiment 3 mentioned above to Embodiment 2.

[0085]Although it was considered as the chirped grating to which grating cycles are changed the fixed cycle C in Embodiment 3 mentioned above, It may be made to change not only this but grating cycles at random between periodic λ_1 (220nm+0.02nm) and periodic λ_2 (220 nm – 0.02 nm).

[0086]It may be made to give periodic fluctuation as a diffraction grating which repeats periodic λ_1 cycle λ_2 by turns 1 time respectively, as shown in drawing 14 (a). It may be made to give periodic fluctuation as a diffraction grating which repeats periodic λ_3 and periodic λ_4 multiple times and by turns, respectively, as shown in drawing 14 (b). It may be made to give periodic fluctuation as a diffraction grating with periodic λ_6 of the multiple times which follow periodic λ_5 of continuous multiple times, as shown in drawing 14 (c). A potato is good, as a cycle with a discrete different value between periodic λ_1 , λ_3 , λ_5 , and periodic λ_2 , λ_4 and λ_6 is complemented, respectively and is arranged.

[0087]In this Embodiment 3, the diffraction grating provided in a semiconductor laser device by a chirped grating etc. Give the periodic fluctuation of about ****0.01–0.2 nm** to a mean wave period, and by this. Set it as the value of a request of the half breadth of a reflexogenic-zone region, and the half breadth $\Delta\lambda$ of an oscillation wavelength spectrum is determined eventually, It is made to output the laser beam in which two or more oscillation vertical microfiche is contained in the half breadth $\Delta\lambda$, and a semiconductor laser device with the same operation effect as Embodiment 1 or Embodiment 2 can be realized.

[0088](Embodiment 4) Below, this embodiment of the invention 4 is described. According to this Embodiment 4, the semiconductor laser device shown by Embodiments 1–3 mentioned above is modularized.

[0089]Drawing 15 is drawing of longitudinal section showing the composition of the semiconductor laser module which is this embodiment of the invention 4. In drawing 15, this semiconductor laser module 50 has the semiconductor laser device 51 corresponding to the semiconductor laser device shown by Embodiments 1–3 mentioned above. As a case of the semiconductor laser module 50, the Peltier module 58 as a temperature controller is arranged on the internal base of the package 59 formed with the Cu–W alloy etc. The base 57 is arranged on the Peltier module 58, and the heat sink 57a is arranged on this base 57. Although the current which is not illustrated is given and the polarity performs cooling and heating, in order to prevent the oscillation wavelength gap by the rise in heat of the semiconductor laser device 51, it functions on the Peltier module 58 mainly as a condensator. That is, it cools and the Peltier module 58 is controlled to a low temperature, when a laser beam is long wave length as compared with desired wavelength, when a laser beam is short wavelength as compared with desired wavelength, is heated and is controlled to a high temperature. The control device which this temperature control is on the heat sink 57a, is concretely controlled based on the detection value of the thermo sensitive register 58a arranged near the semiconductor laser device 51, and is not illustrated usually controls the Peltier module 58 so that the temperature of the heat sink 57a is kept constant. The control device which is not illustrated controls the Peltier module 58 so that the temperature of the heat sink 57a falls, as it raises the driving current of the semiconductor laser device 51. By performing such temperature control, the wavelength stability of the semiconductor laser device 51 can be raised, and it becomes effective also in improvement in the yield. As for the heat sink 57a, it is desirable to form according to the

construction material which has the high heat conductivity of a diamond etc., for example. This is because generation of heat at the time of high-electric-current pouring will be controlled if the heat sink 57a is formed with a diamond. In this case, wavelength stability improves further and, moreover, temperature control also becomes easy.

[0090]On the base 57, the heat sink 57a which has arranged the semiconductor laser device 51 and the thermo sensitive register 58a, the 1st lens 52, and the monitor photo-diode 56 are arranged. The laser beam emitted from the semiconductor laser device 51 is guided on the optical fiber 55 via the 1st lens 52, the isolator 53, and the 2nd lens 54. The 2nd lens 54 is on the optic axis of a laser beam, it is formed on the package 59 and optical coupling is carried out to the optical fiber 55 by which external connection is carried out. The monitor photo-diode 56 carries out monitor detection of the light which leaked from the reflection film side of the semiconductor laser device 51.

[0091]The isolator 53 is made to intervene between the semiconductor laser device 51 and the optical fiber 55 with this semiconductor laser module 50, here so that the return light by other optics may not reinput in a resonator. Since not a polarization-independent type but the small polarization-dependent isolator of an in-line type can be used for this isolator 53 unlike the conventional semiconductor laser module which used the fiber grating, Still lower relative intensity noise (RIN) can be attained, and insertion loss by an isolator can be made small.

[0092]The example of the temperature control by the semiconductor laser module of this Embodiment 4 is explained. Drawing 16 is a figure showing the relation between the driving current I_{op} and the temperature T_s of the thermo sensitive register 58a. In drawing 16, the straight line L1 shows the case where the temperature T_s which the thermo sensitive register 58a detects is controlled to a fixed temperature, for example, 25 **, irrespective of the change in the driving current I_{op} . On the other hand, in this embodiment the temperature T_j of GRIN-SCH-MQW active layer 3, Control function [which are the relations of the temperature T_s of the thermo sensitive register 58a which becomes always fixed (straight-line L2 reference)] FS1-FS3, for example, control function FS, 2 is calculated, He is trying for the temperature at the time of inputting the value of the driving current I_{op} into control function FS2 to control the Peltier module 58 to become the temperature T_s of the thermo sensitive register 58a. For example, since it becomes constant [an oscillation wavelength] on the wavelength λ_2 by performing temperature control by control function FS2, the jump of the oscillation wavelength accompanying the shift of an oscillation wavelength will be lost, the kink on the I-L characteristic will decrease, and the dynamic stability of an oscillation wavelength will be acquired. Wavelength control can be carried out to the respectively fixed oscillation wavelength λ_1 and λ_3 by performing temperature control based on control function FS1 and FS3.

[0093]Drawing 17 is a figure showing the wavelength control result based on the control functions FS1-FS3. In drawing 17, the oscillation wavelength λ shifted the characteristic L3 to the long wavelength side, and has shifted it about 2 nm as change of the oscillation wavelength λ at the time of performing temperature control based on the straight line L1 is shown and the driving current I_{op} increases to 100 mA - 1200 mA. On the other hand, when temperature control is performed based on the control functions FS1-FS3, even if the driving current I_{op} increases to 100 mA - 1200 mA, the respectively fixed oscillation wavelengths λ_1 - λ_3 are maintained. For example, irrespective of the change in the driving current I_{op} , the wavelength at the time of performing temperature control based on control function FS2 can maintain $\lambda_2 \pm 0.5\text{nm}$ accuracy, and can output the laser beam of the stable wavelength suitable as a light source for Raman amplification. The black square seal and filled diamond seal which were shown in drawing 16 and drawing 17 are an actual measurement, respectively.

[0094]According to this Embodiment 4, since the semiconductor laser device shown by Embodiments 1-3 is modularized, a large-sized isolator can be used, insertion loss can be made small, and reduction of low-noise-izing and part mark can be promoted.

[0095](Embodiment 5) Below, this embodiment of the invention 5 is described. According to this Embodiment 5, the semiconductor laser module shown in Embodiment 4 mentioned above is applied to a Raman amplifier.

[0096]Drawing 18 is a block diagram showing the composition of the Raman amplifier which is

this embodiment of the invention 5. This Raman amplifier is used for a WDM communications system. In drawing 18, the semiconductor laser module shown in Embodiment 4 mentioned above and the semiconductor laser modules 60a–60d of an identical configuration are used for this Raman amplifier. It has composition which transposed the semiconductor laser modules 182a–182d shown in drawing 26 to the semiconductor laser modules 60a–60d mentioned above.

[0097] Each semiconductor laser modules 60a and 60b, Outputting the laser beam which has two or more oscillation vertical microfiche to the polarization-compounds coupler 61a via the plane-of-polarization maintenance fiber 71, each semiconductor laser modules 60c and 60d output the laser beam which has two or more oscillation vertical microfiche to the polarization-compounds coupler 61b via the plane-of-polarization maintenance fiber 71. Here, moreover the laser beam which the semiconductor laser modules 60a and 60b oscillate is an identical wavelength, although the laser beam which the semiconductor laser modules 60c and 60d oscillate is an identical wavelength, it differs from the wavelength of the laser beam which the semiconductor laser modules 60a and 60b oscillate. This is because Raman amplification has polarization dependency, and he is trying to output it as a laser beam by which polarization dependency was canceled with the polarization-compounds couplers 61a and 61b.

[0098] The laser beam with different wavelength outputted from each polarization-compounds couplers 61a and 61b is compounded by WDM couplers 62, and the compounded laser beam is outputted to the fiber 64 for amplification as excitation light for Raman amplification via WDM couplers 65. Raman amplification of the optical signal for amplification is inputted and carried out to the fiber 64 for amplification into which this excitation light was inputted.

[0099] The optical signal (amplified signal light) by which Raman amplification was carried out into the fiber 64 for amplification is inputted into the coupler 67 for monitor light distribution via WDM couplers 65 and the isolator 66. The coupler 67 for monitor light distribution outputs a part of amplified signal light to the control circuit 68, and outputs it to the optical signal output fiber 70 by making the remaining amplified signal lights into an outputted ray.

[0100] The control circuit 68 controls an each semiconductor laser modules [60a–60d] laser output state, for example, light intensity, based on some inputted amplified signal lights, and it carries out feedback control so that the gain band of Raman amplification may serve as the flat characteristic.

[0101] In the Raman amplifier shown in this Embodiment 5. For example, the semiconductor light emitting element 180a shown in drawing 26 and the fiber grating 181a do not use the semiconductor laser module 182a combined with the plane-of-polarization maintenance fiber 71a. Since he is trying to use the semiconductor laser module 60a in which the semiconductor laser device shown by Embodiments 1–3 was built in, use of the plane-of-polarization maintenance fiber 71a is reducible. As mentioned above, since each semiconductor laser modules 60a–60d have two or more oscillation vertical microfiche, they can shorten plane-of-polarization maintenance fiber length. As a result, the small weight saving and cost reduction of a Raman amplifier are realizable.

[0102] As shown in drawing 19, it may be made to carry out optical power to WDM couplers 62 from the semiconductor laser modules 60a and 60c in the Raman amplifier shown in drawing 18, although the polarization-compounds couplers 61a and 61b are used directly via the plane-of-polarization maintenance fiber 71, respectively. In this case, the plane of polarization of the semiconductor laser modules 60a and 60c enters so that it may become 45 degrees to the plane-of-polarization maintenance fiber 71. Here, as mentioned above, since each semiconductor laser modules 60a and 60c have two or more oscillation vertical microfiche, they can shorten plane-of-polarization maintenance fiber length 71. By this, the polarization dependency of the optical power outputted from the plane-of-polarization maintenance fiber 71 can be abolished, and a Raman amplifier with still few small size and part mark can be realized.

[0103] If a semiconductor laser device with many oscillation vertical microfiche is used as a semiconductor laser device built in in semiconductor laser module 60a–60d, the length of the required plane-of-polarization maintenance fiber 71 can be shortened. Since the length of the required plane-of-polarization maintenance fiber 71 will become short rapidly if oscillation vertical microfiche becomes 4 or 5 especially, the simplification and a miniaturization of a Raman

amplifier can be promoted. Coherent length will become short if the number of oscillation vertical microfiche increases. A polarization degree (DOP:Degree Of Polarization) becomes small by a DEORA rise, it becomes possible to abolish polarization dependency, and the simplification and a miniaturization of a Raman amplifier can be further promoted also by this.

[0104]The operation effect which Embodiments 1-3 mentioned above have can be given to a Raman amplifier. For example, since relative intensity noise (RIN) can be reduced as compared with the semiconductor laser module using a fiber grating, fluctuation of Raman amplification can be suppressed and stable Raman amplification can be performed. For example, drawing 20 is a noise-spectrum figure showing the relative intensity noise at the time of amplifying an optical signal with a frequency of 0.1-15 GHz, when the driving current I_{op} over the semiconductor laser device shown in drawing 6 is not less than 300 mA. As shown in drawing 20, relative intensity noise (RIN) is less than -150 dB/Hz, and the Raman amplifier with which low noise-ization was promoted is realized.

[0105]In this Raman amplifier, since optic-axis doubling is easy and there is no mechanical optical coupling into a resonator as compared with the semiconductor laser module which used the fiber grating, the stability of Raman amplification and reliability can be improved also from this point.

[0106]In the semiconductor laser device of Embodiments 1-3 mentioned above, since it has two or more oscillation modes and high-output excitation light can be generated, without generating an derivation Brillouin scattering, it is stabilized and high Raman gain can be obtained.

[0107]Although the Raman amplifier shown in drawing 18 and drawing 19 is a back excitation method, since it outputs the excitation light which was stabilized as for the semiconductor laser modules 60a-60d as mentioned above, even if it is a forward excitation method and it is a bidirectional excitation method, it can perform stable Raman amplification.

[0108]For example, drawing 21 is a block diagram showing the composition of a Raman amplifier, when adopting a forward excitation method. The Raman amplifier shown in drawing 21 has provided WDM-couplers 65' in the Raman amplifier shown in drawing 18 near the isolator 63. In this WDM-couplers 65', the semiconductor laser modules 60a-60d, Semiconductor laser module 60a'-60d' respectively corresponding to the polarization-compounds couplers 61a and 61b and WDM couplers 62, A circuit with polarization-compounds coupler 61a', 61b', and WDM-couplers 62' is connected, and forward excitation which outputs the excitation light outputted from WDM-couplers 62' in the same direction as an optical signal is performed. In this case, since the semiconductor laser device used by Embodiments 1-4 mentioned above is used for semiconductor laser module 60a' - 60d', their RIN is small and they can perform forward excitation effectively.

[0109]Similarly, drawing 22 is a block diagram showing the composition of the Raman amplifier which adopted the forward excitation method. The Raman amplifier shown in drawing 22 has provided WDM-couplers 65' in the Raman amplifier shown in drawing 19 near the isolator 63. this -- WDM couplers -- 65 -- ' -- **** -- a semiconductor laser module -- 60 -- a -- 60 -- c -- and -- WDM couplers -- 62 -- respectively -- having corresponded -- a semiconductor laser module -- 60 -- a -- ' -- 60 -- c -- ' -- and -- WDM couplers -- 62 -- ' -- having had -- a circuit -- connecting -- having. Forward excitation which outputs the excitation light outputted from WDM-couplers 62' in the same direction as an optical signal is performed. In this case, since the semiconductor laser device used by Embodiments 1-4 mentioned above is used for semiconductor laser module 60a' and 60c', their RIN is small and they can perform forward excitation effectively.

[0110]Drawing 23 is a block diagram showing the composition of a Raman amplifier, when adopting a bidirectional excitation method. drawing 23 -- having been shown -- a Raman amplifier -- drawing 18 -- having been shown -- a Raman amplifier -- composition -- drawing 21 -- having been shown -- WDM couplers -- 65 -- ' -- a semiconductor laser module -- 60 -- a -- ' -- 60 -- d -- ' -- polarization compounds -- a coupler -- 61 -- a -- ' -- 61 -- b -- ' -- and -- WDM couplers -- 62 -- ' -- further -- providing -- back -- excitation -- forward excitation -- carrying out . In this case, since the semiconductor laser device used by Embodiments 1-4 mentioned above is used for semiconductor laser module 60a' - 60d', their RIN

is small and they can perform forward excitation effectively.

[0111] Similarly, drawing 24 is a block diagram showing the composition of the Raman amplifier which adopted the bidirectional excitation method. drawing 24 -- having been shown -- a Raman amplifier -- drawing 19 -- having been shown -- a Raman amplifier -- composition -- drawing 22 -- having been shown -- WDM couplers -- 65 -- ' -- a semiconductor laser module -- 60 -- a -- ' -- 60 -- c -- ' -- and -- WDM couplers -- 62 -- ' -- further -- providing -- back -- excitation -- forward excitation -- carrying out . In this case, since the semiconductor laser device used by Embodiments 1-4 mentioned above is used for semiconductor laser module 60a' and 60c', their RIN is small and they can perform forward excitation effectively.

[0112] The cavity length L of the light source for Raman amplification used for the forward excitation in the forward excitation method or bidirectional excitation method mentioned above may be less than 800 micrometers. When the cavity length L shall be less than 800 micrometers, as mentioned above, when mode spacing $\Delta\lambda$ of oscillation vertical microfiche becomes narrow and uses as a light source for Raman amplification, the number of oscillation vertical microfiche decreases, and it becomes impossible to obtain big optical power, but. Since forward excitation can be managed with low-power output as compared with back excitation, the cavity length L does not necessarily need to be not less than 800 micrometers.

[0113] The Raman amplifier shown in drawing 18, drawing 19, drawing 21 - drawing 24 which were mentioned above is applicable to a WDM communications system, as mentioned above. Drawing 25 is a block diagram showing the outline composition of the WDM communications system which applied the Raman amplifier shown in drawing 18, drawing 19, drawing 21 - drawing 24.

[0114] In drawing 25, it is multiplexed with the optical multiplexing machine 80, and the lightwave signal of wavelength λ_1 sent out from two or more transmitters Tx1-Txn - λ_n is collected by the one optical fiber 85. On the transmission line of this optical fiber 85, two or more Raman amplifiers 81 and 83 corresponding to the Raman amplifier shown in drawing 18, drawing 19, drawing 21 - drawing 24 are arranged according to distance, and amplify the decreased lightwave signal. With the optical separator 84, it is separated spectrally into the lightwave signal of two or more wavelength $\lambda_1 - \lambda_n$, and the signal which transmitted this optical fiber 85 top is received by two or more receivers Rx1-Rxn. On the optical fiber 85, the lightwave signal of arbitrary wavelength is added and ADM (Add/Drop Multiplexer) to take out may be inserted.

[0115] Although Embodiment 5 mentioned above showed the case where the semiconductor laser module shown in the semiconductor laser device shown in Embodiments 1-3 or Embodiment 4 was used for the excitation light source for Raman amplification, It is clear that it can use as light sources for EDFA excitation, such as 0.98 micrometer, not only in this, for example.

[0116]

[Effect of the Invention] As explained above, according to the invention of Claim 1, a diffraction grating is provided near the active layer formed between the 1st reflection film provided in the emitting end surface of the laser beam, and the 2nd reflection film provided in the reflecting end face of this laser beam, Wavelength is stabilized by combination setting out of the oscillation parameter containing the cavity length which said active layer forms, and the wavelength selection properties of said diffraction grating, And since he is trying to output two or more laser beams which contain three or more oscillation vertical microfiche preferably in the half breadth of an oscillation wavelength spectrum, The effect that high Raman amplification can be performed is done so, suppressing an derivation Brillouin scattering, when an optical power peak value can be held down, optical power power can be increased and it uses for a Raman amplifier by existence of two or more oscillation vertical microfiche. Since the emitted light from the 1st reflection film is used as a light source for excitation for Raman amplifiers as it is not using the fiber grating, As compared with the semiconductor laser device using the conventional fiber grating, relative intensity noise is reduced and the effect that Raman amplification stable when it used for a Raman amplifier can be performed is done so.

[0117] Since the resonator is not separated physically, while it is not necessary to perform optic-axis doubling etc. and an assembly becomes easy, the laser beam where the oscillation

characteristic of laser becomes difficult to change, and was stabilized by mechanical oscillation etc. -- reliability -- it can output highly, and when it uses for a Raman amplifier, the effect that stability and reliable Raman amplification can be performed is done so.

[0118]The effect that plane-of-polarization maintenance fiber length who uses it for a DEORA rise can be shortened by existence of two or more oscillation vertical microfiche is done so.

[0119]Since the diffraction grating in the semiconductor laser device concerned is made to perform a wavelength lock, the effect that inclusion of the isolator for preventing incidence of the return light from the optical fiber which draws the outputted laser beam becomes easy is done so.

[0120]Generating of the kink on the inrush current-optical power characteristic produced in the semiconductor laser device using a fiber grating can be suppressed, and the effect that the stable laser beam can be outputted is done so.

[0121]Since the oscillation wavelength is 1200-1550 nm according to the invention of Claim 2, the effect that Raman amplification of the optical signal of a wavelength band region suitable for the transmission band of an optical fiber can be performed is done so.

[0122]Since 3 nm or less of half breadth of said oscillation wavelength spectrum is 2 nm or less preferably according to the invention of Claim 3, the effect that wavelength composition at the time of Raman amplification can be performed efficiently is done so.

[0123]By according to the invention of Claim 4, the cavity length which said active layer forms being not less than 800 micrometers, and shortening mode spacing of oscillation vertical microfiche, Since the number of oscillation vertical microfiche contained in the half breadth of said oscillation wavelength spectrum is made to increase, the effect that plurality-ization of the oscillation vertical microfiche contained in the half breadth of an oscillation wavelength spectrum can be performed easily is done so.

[0124]The cavity length which said active layer forms according to the invention of Claim 5, Since it shall be referred to as 3200 micrometers or less, the mode spacing of oscillation vertical microfiche shall be 0.1 nm or more and he is trying to reduce the influence of the derivation Brillouin scattering at the time of Raman amplification, the effect that the stable Raman gain can be obtained is done so.

[0125]Since predetermined periodic fluctuation is given to the grating cycles of said diffraction grating and he is trying to expand the half breadth of an oscillation wavelength spectrum by this according to the invention of Claim 6, The effect that plurality-ization of the number of oscillation vertical microfiche contained in the half breadth of an oscillation wavelength spectrum can be performed easily is done so.

[0126]According to the invention of Claim 7, said grating cycles are made into random or the grating changed with the given period for said diffraction grating, Since a diffraction grating is made to generate periodic fluctuation and he is trying to expand the half breadth of an oscillation wavelength spectrum by this, the effect that plurality-ization of the number of oscillation vertical microfiche contained in the half breadth of an oscillation wavelength spectrum can be performed easily is done so.

[0127]Since said diffraction grating is made into the same length as said cavity length along with said active layer according to the invention of Claim 8, the effect that manufacture of the semiconductor laser device concerned can be made easy is done so.

[0128]Since the length of a diffraction grating is changed and he is trying to expand the half breadth of an oscillation wavelength spectrum by this by providing said diffraction grating in the part in alignment with said active layer according to the invention of Claim 9, The effect that plurality-ization of the number of oscillation vertical microfiche contained in the half breadth of an oscillation wavelength spectrum can be performed easily is done so.

[0129]According to the invention of Claim 10, said diffraction grating to said 2nd reflection film side direction near [said] the 1st reflection film of a laser beam to or said 1st reflection film side direction near [said] the 2nd reflection film. Consider it as the partial diffraction grating which was prolonged along with said active layer as for fixed length, and the half breadth of an oscillation wavelength spectrum is changed by changing the half breadth of the reflexogenic-zone region of this partial diffraction grating by the length of a partial diffraction grating, Since he

is trying to provide a partial diffraction grating in the 1st reflection film or 1st reflection film side corresponding to the height of the reflectance at this time while performing plurality-ization of the number of oscillation vertical microfiche contained in this half breadth, The effect that plurality-ization of the oscillation vertical microfiche contained in the half breadth of an oscillation wavelength spectrum can be performed appropriately is done so.

[0130]By according to the invention of Claim 11, making it include the coupling coefficient of said diffraction grating in said oscillation parameter, and changing the coupling coefficient of this diffraction grating, The half breadth of an oscillation wavelength spectrum is changed, and since it is made to perform plurality-ization of the number of oscillation vertical microfiche contained in this half breadth, the effect that plurality-ization of the number of oscillation vertical microfiche contained in the half breadth of an oscillation wavelength spectrum can be performed easily is done so.

[0131]Since the resonator of this semiconductor laser device is not physically separated using the semiconductor laser device which does not use a fiber grating according to the invention of Claim 12, While it is not necessary to perform optic-axis doubling etc. and the assembly of a semiconductor laser module becomes easy, the laser beam where the oscillation characteristic of laser becomes difficult to change, and was stabilized by mechanical oscillation etc. -- reliability -- the effect that it is high and the semiconductor laser module which can be stabilized and outputted can be realized is done so.

[0132]Since the semiconductor laser device which does not use a fiber grating is used according to the invention of Claim 13, Unlike an in-line-type fiber type, a large-sized isolator can be used and the effect that the small semiconductor laser module of insertion loss is realizable is done so.

[0133]According to the invention of Claim 14, the semiconductor laser device according to claim 1 to 11, Or the semiconductor laser module according to claim 12 or 13 is used as the excitation light source for broadband Raman amplification, Each semiconductor laser device mentioned above or the operation effect of each semiconductor laser module is done so, and the effect that stability and reliable Raman amplification can be performed is done so.

[0134]According to the invention of Claim 15, the semiconductor laser device according to claim 1 to 11, Or the semiconductor laser module according to claim 12 or 13, Are the excitation light source for broadband Raman amplification, and it uses as the light source for forward excitation, or a light source for forward excitation in a bidirectional excitation method, Each semiconductor laser device mentioned above or the operation effect of each semiconductor laser module, especially the operation effect that RIN is low are used effectively, and the effect that stability and reliable Raman amplification can be performed is done so.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]It is the fracture figure which saw from across the semiconductor laser device which is this embodiment of the invention 1.

[Drawing 2]It is drawing of longitudinal section of a longitudinal direction showing the outline composition of the semiconductor laser device shown in drawing 1.

[Drawing 3]It is an A-A line sectional view of the semiconductor laser device shown in drawing 1.

[Drawing 4]It is a figure showing the relation of the oscillation wavelength spectrum of a semiconductor laser device and oscillation vertical microfiche which were shown in drawing 1.

[Drawing 5]It is a figure showing the relation of the laser beam output power of single oscillation vertical microfiche and two or more oscillation vertical microfiche, and the threshold of an derivation Brillouin scattering.

[Drawing 6]It is drawing of longitudinal section of a longitudinal direction showing the outline composition of the semiconductor laser device which is this embodiment of the invention 2.

[Drawing 7]It is drawing of longitudinal section of a longitudinal direction showing the outline composition of the semiconductor laser device which is the 1st modification of this embodiment of the invention 2.

[Drawing 8]It is drawing of longitudinal section of a longitudinal direction showing the outline composition of the semiconductor laser device which is the 2nd modification of this embodiment of the invention 2.

[Drawing 9]It is a figure showing the measuring result of the oscillation wavelength spectrum of the semiconductor laser device corresponding to the semiconductor laser device shown in drawing 6.

[Drawing 10]It is a figure showing the I-L characteristic of the semiconductor laser device corresponding to the semiconductor laser device shown in drawing 6.

[Drawing 11]It is a figure showing the oscillation wavelength spectrum at the time of applying a chirped grating to a diffraction grating.

[Drawing 12]It is drawing of longitudinal section of a longitudinal direction showing the outline composition of the semiconductor laser device which is this embodiment of the invention 3.

[Drawing 13]It is a figure showing the periodic fluctuation of the diffraction grating shown in drawing 12.

[Drawing 14]It is a figure showing the modification which realizes periodic fluctuation of the diffraction grating in this embodiment of the invention 3.

[Drawing 15]It is drawing of longitudinal section showing the composition of the semiconductor laser module which is this embodiment of the invention 4.

[Drawing 16]It is a figure showing an example of the control function used for temperature control.

[Drawing 17]It is a figure showing the driving current dependency of the oscillation wavelength at the time of using the control function shown in drawing 16.

[Drawing 18]It is a block diagram showing the composition of the Raman amplifier which is this embodiment of the invention 5.

[Drawing 19] It is a block diagram showing the application of the Raman amplifier shown in drawing 18.

[Drawing 20] It is a figure showing the noise spectrum of relative intensity noise with a frequency [at the time of adding 300 mA of driving current] of 0.1–15 GHz.

[Drawing 21] It is a modification of the Raman amplifier shown in drawing 18, and is a block diagram showing the composition of the Raman amplifier which adopted the forward excitation method.

[Drawing 22] It is a block diagram showing the application of the Raman amplifier shown in drawing 21.

[Drawing 23] It is a modification of the Raman amplifier shown in drawing 18, and is a block diagram showing the composition of the Raman amplifier which adopted the bidirectional excitation method.

[Drawing 24] It is a block diagram showing the application of the Raman amplifier shown in drawing 23.

[Drawing 25] It is a block diagram showing the outline composition of the WDM communications system using the Raman amplifier shown in drawing 18, drawing 19, drawing 21 – drawing 24.

[Drawing 26] It is a block diagram showing the outline composition of the conventional Raman amplifier.

[Drawing 27] It is a figure showing the composition of the semiconductor laser module used for the Raman amplifier shown in drawing 26.

[Description of Notations]

- 1 n-InP substrate
- 2 n-InP buffer layer
- 3 GRIN-SCH-MQW active layer
- 4 p-InP spacer layer
- 6 p-InP cladding layer
- 7 InGaAsP contact layer
- 8 p-InP blocking layer
- 9 n-InP blocking layer
- 10 p lateral electrode
- 11 n lateral electrode
- 13, 43–47 Diffraction grating
- 14 Reflection film
- 15 Outgoing radiation side reflection film
- 20, 51 semiconductor laser devices
- 30 Oscillation wavelength spectrum
- 31–33 Oscillation vertical microfiche
- 50, 60a–60d, a 60a'–60d' semiconductor laser module
- 52 The 1st lens
- 53, 63, and 66 Isolator
- 54 The 2nd lens
- 55 Optical fiber
- 56 Monitor photo-diode
- 57 Base
- 57a Heat sink
- 58 Peltier module
- 58a Thermo sensitive register
- 59 Package
- 61a, 61b, 61a', a 61b' polarization-compounds coupler
- 62, 65, 62', 65' WDM couplers
- 64 The fiber for amplification
- 67 The coupler for monitor light distribution
- 68 Control circuit
- 69 Optical signal input fiber

70 Optical signal output fiber
71 Plane-of-polarization maintenance fiber
81, 83 Raman amplifiers
LG Grating length
 κ_{LG} coupling coefficient
Pth Threshold

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

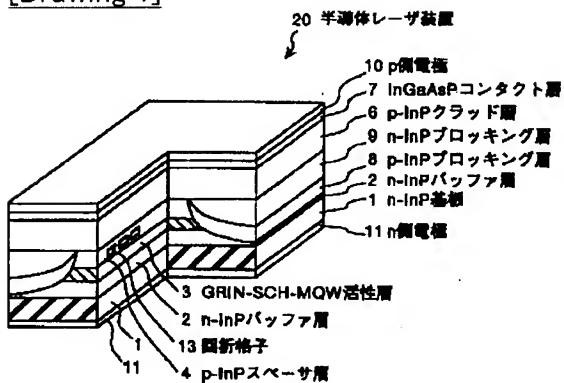
1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.*** shows the word which can not be translated.

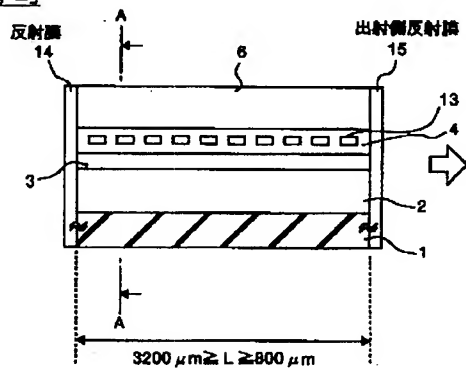
3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

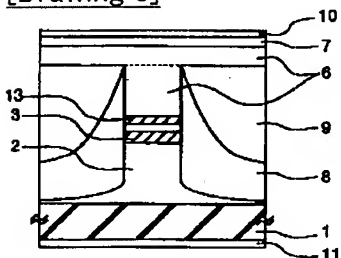
[Drawing 1]



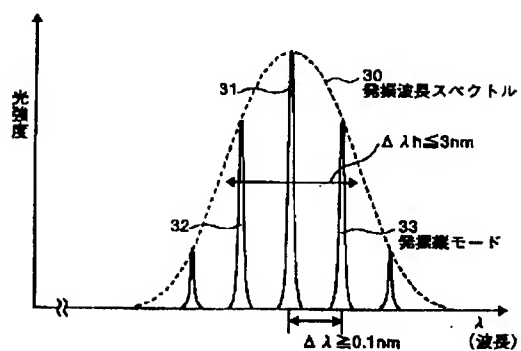
[Drawing 2]



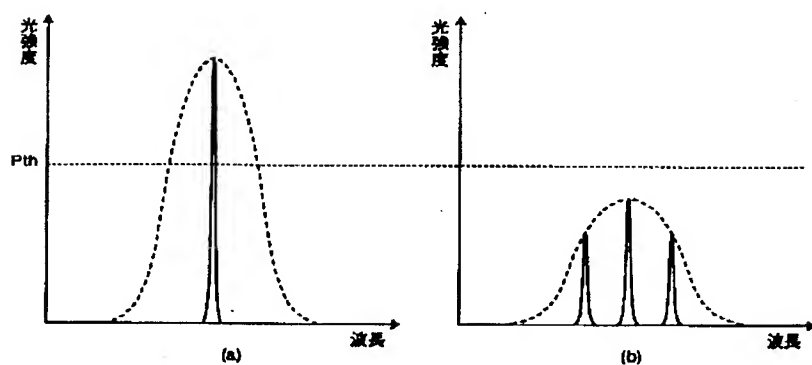
[Drawing 3]



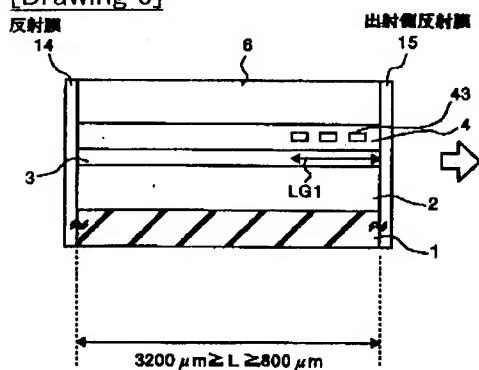
[Drawing 4]



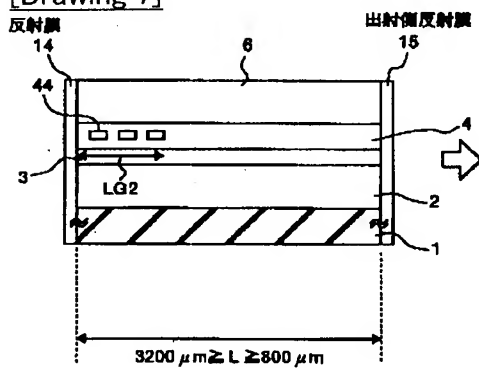
[Drawing 5]



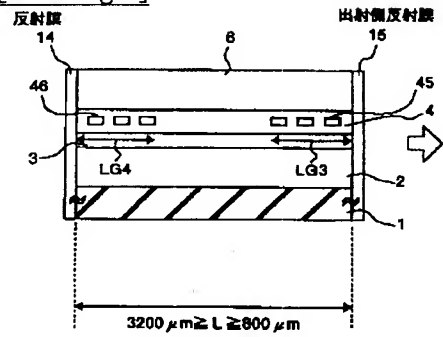
[Drawing 6]



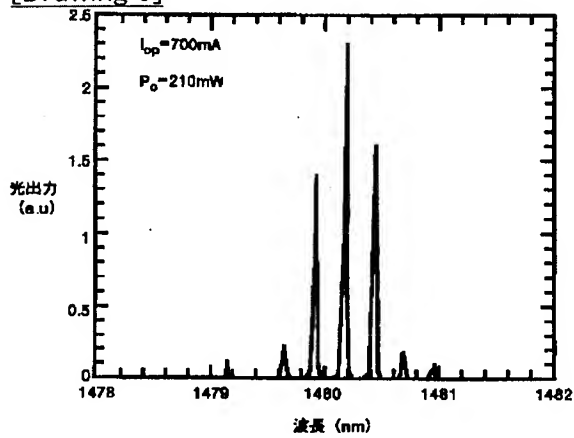
[Drawing 7]



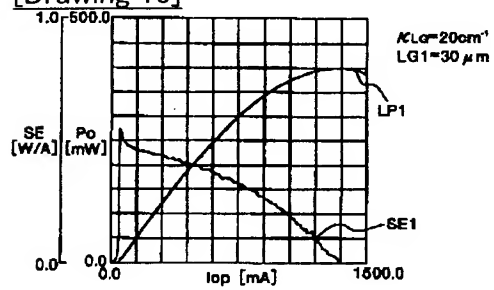
[Drawing 8]



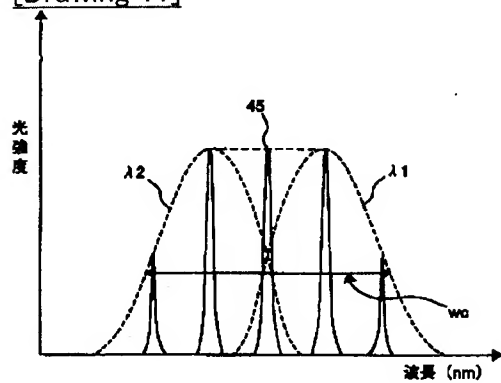
[Drawing 9]



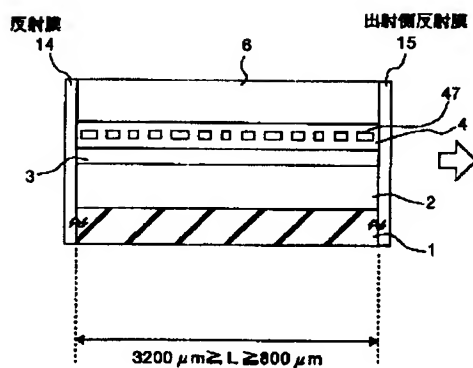
[Drawing 10]



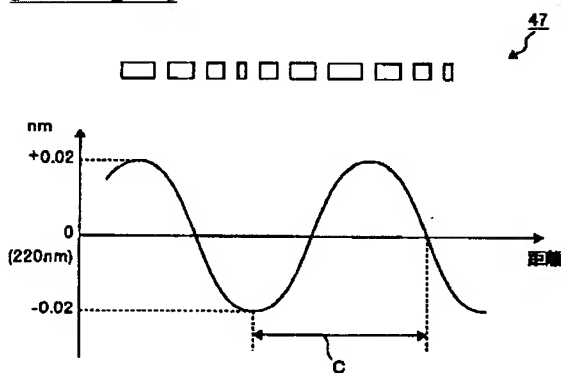
[Drawing 11]



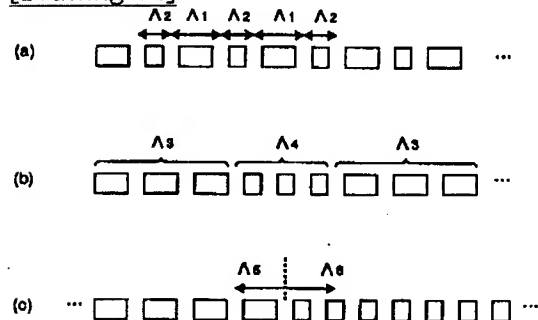
[Drawing 12]



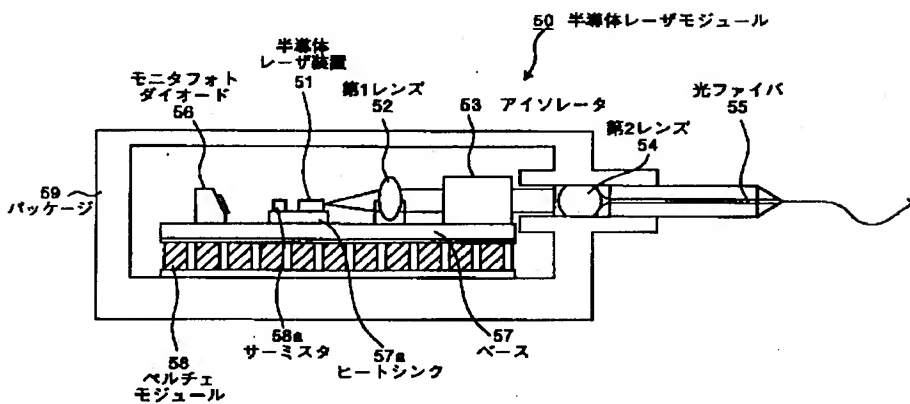
[Drawing 13]



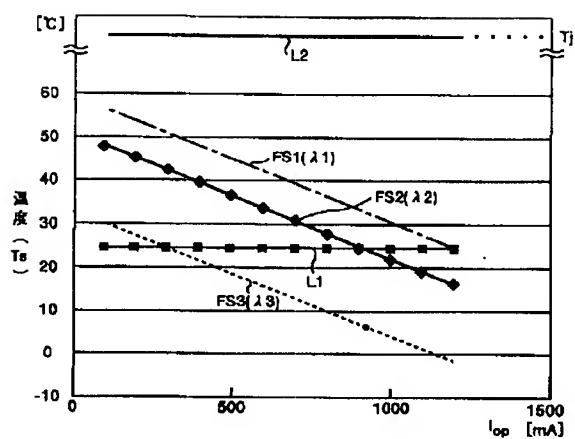
[Drawing 14]



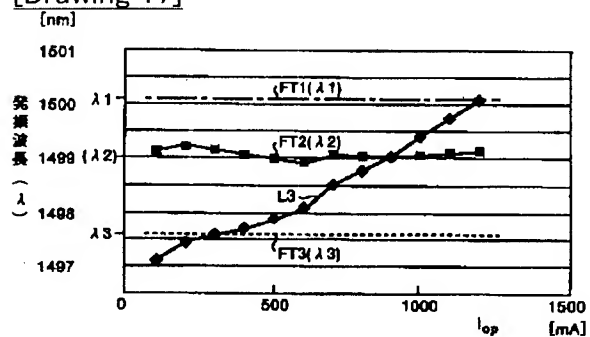
[Drawing 15]



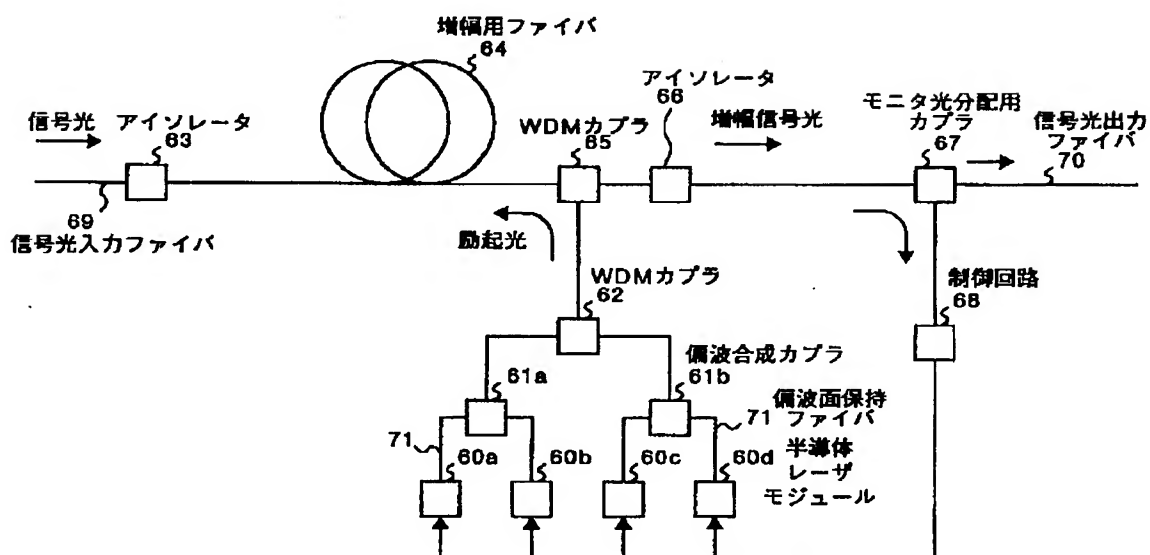
[Drawing 16]



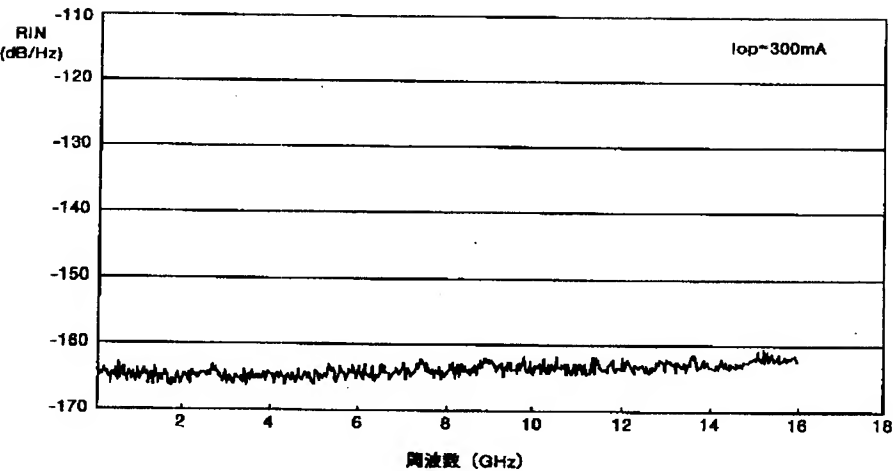
[Drawing 17]



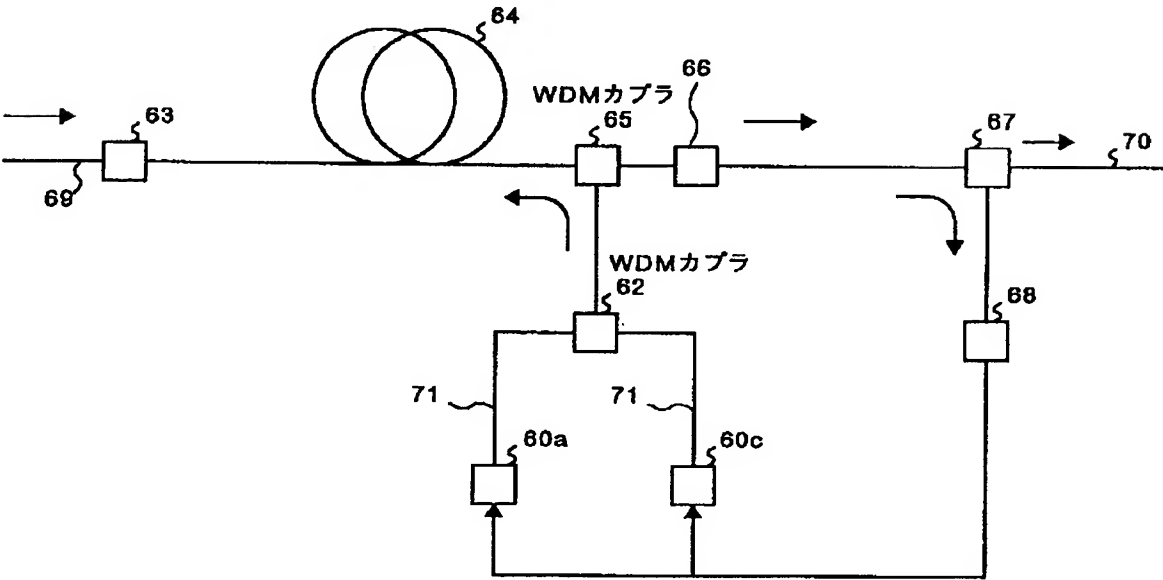
[Drawing 18]



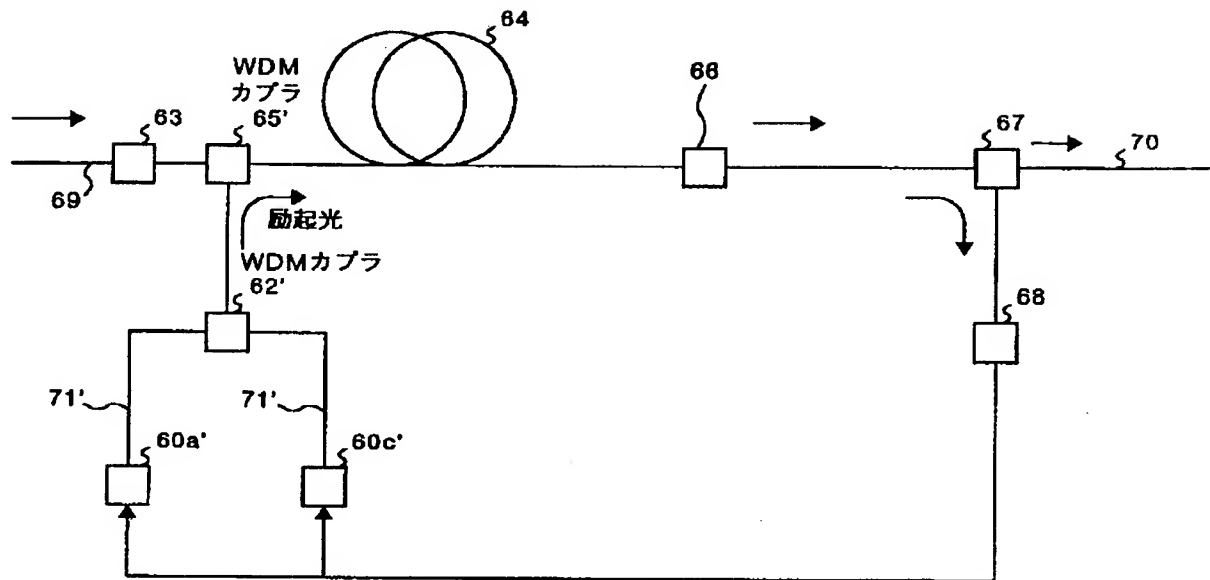
[Drawing 20]



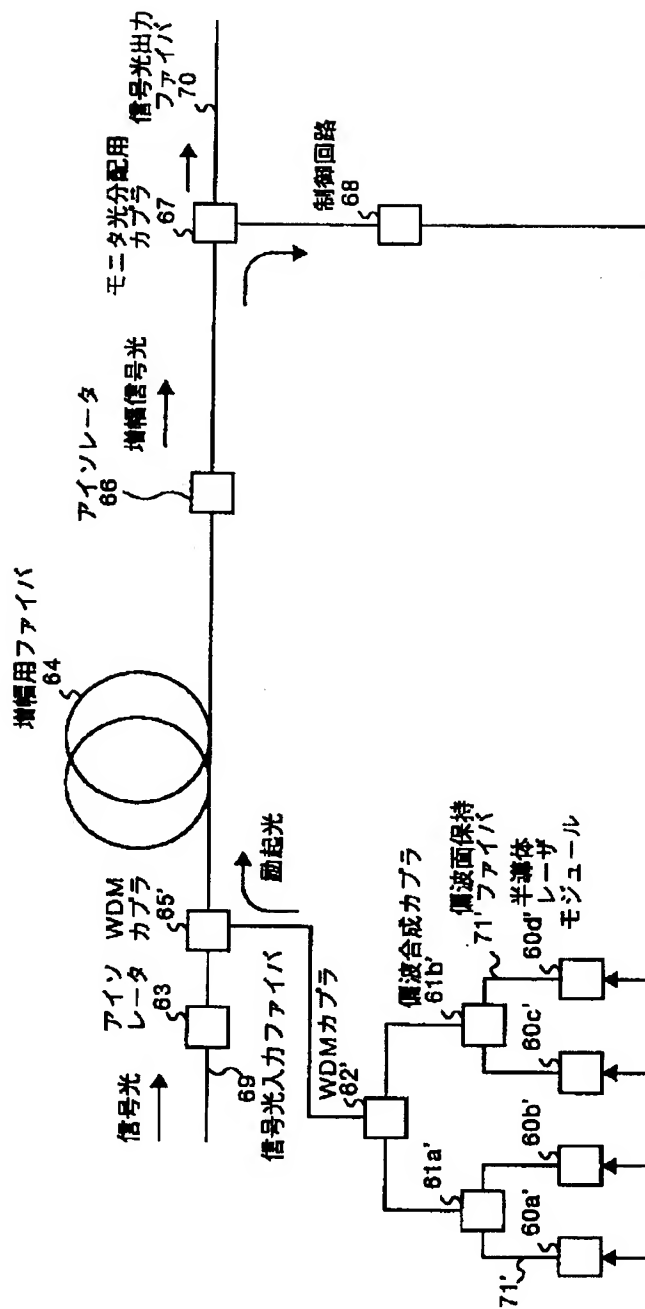
[Drawing 19]



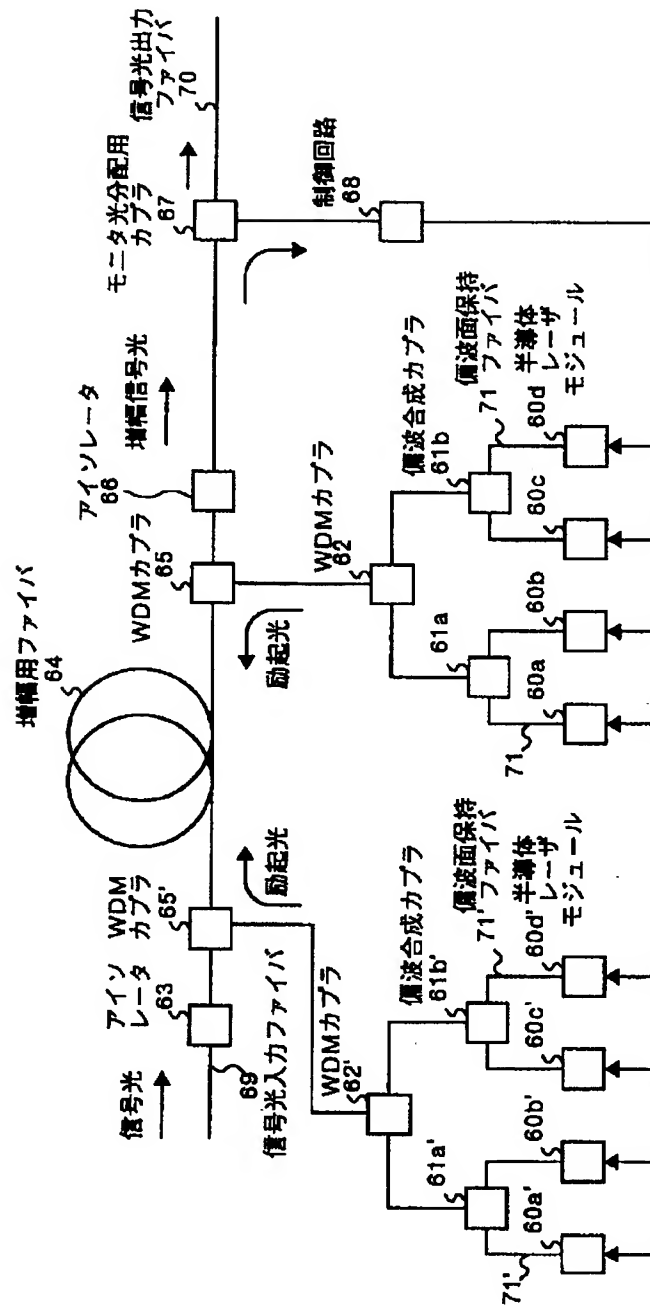
[Drawing 22]



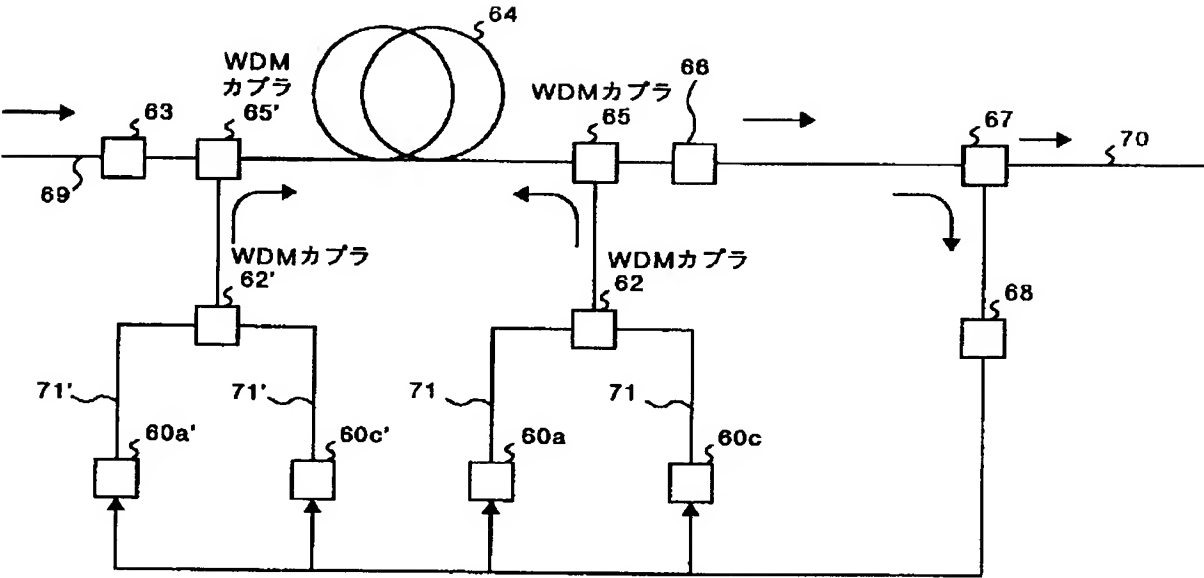
[Drawing 21]



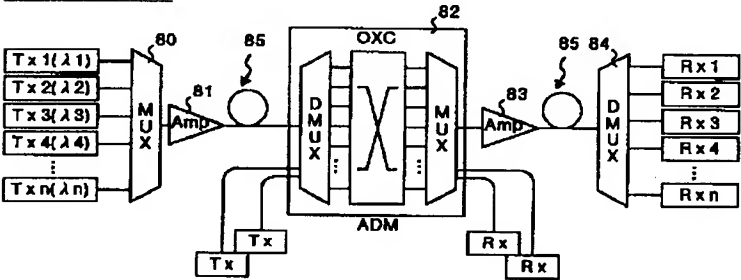
[Drawing 23]



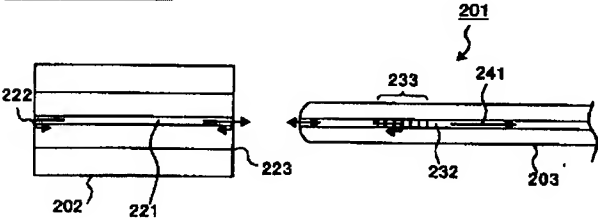
[Drawing 24]



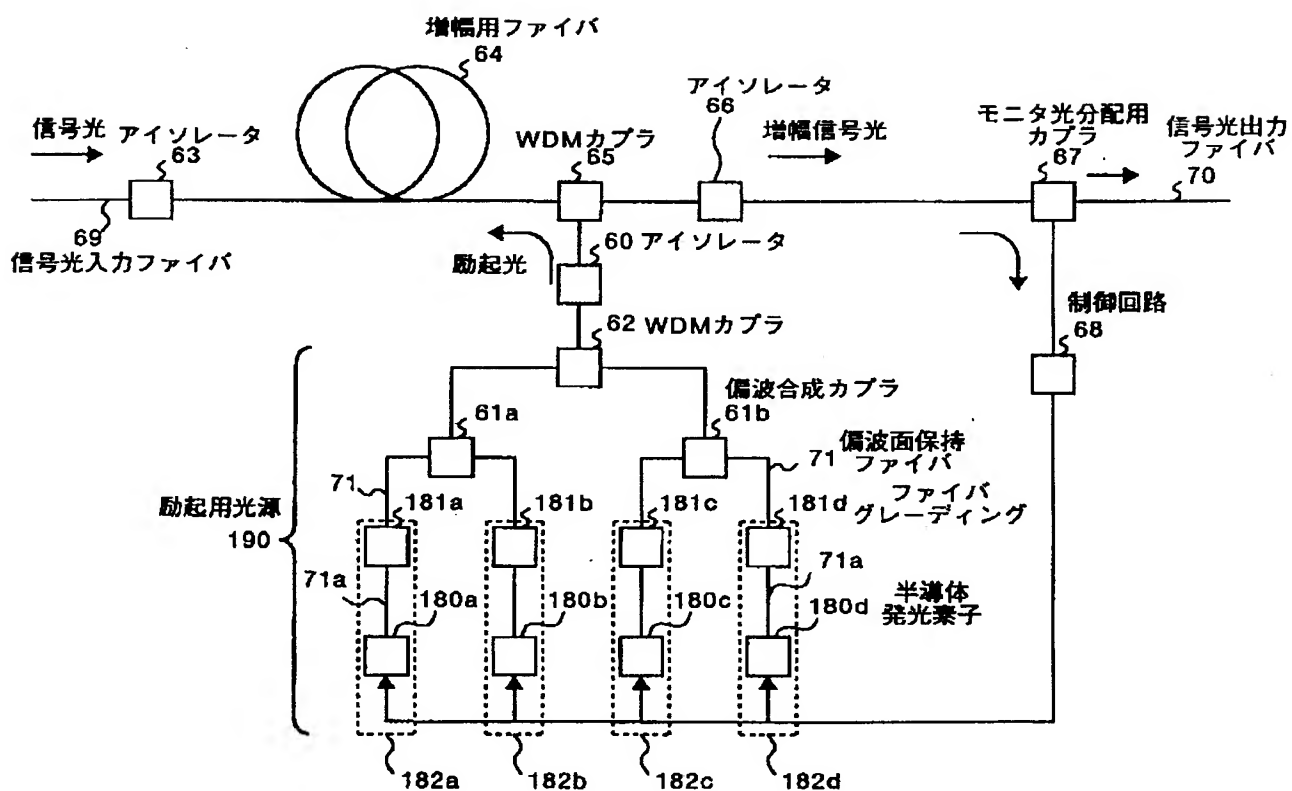
[Drawing 25]



[Drawing 27]



[Drawing 26]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-204024
(P2002-204024A)

(43) 公開日 平成14年7月19日 (2002. 7. 19)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 S 5/125		H 0 1 S 5/125	2 H 0 3 7
G 0 2 B 6/42		G 0 2 B 6/42	2 K 0 0 2
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1 5 F 0 7 3

審査請求 有 請求項の数15 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2001-300490 (P2001-300490)
(22) 出願日 平成13年9月28日 (2001. 9. 28)
(31) 優先権主張番号 特願2000-323118 (P2000-323118)
(32) 優先日 平成12年10月23日 (2000. 10. 23)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005290
古河電気工業株式会社
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号
(72) 発明者 築地 直樹
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内
(72) 発明者 吉田 順自
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内
(74) 代理人 100089118
弁理士 酒井 宏明

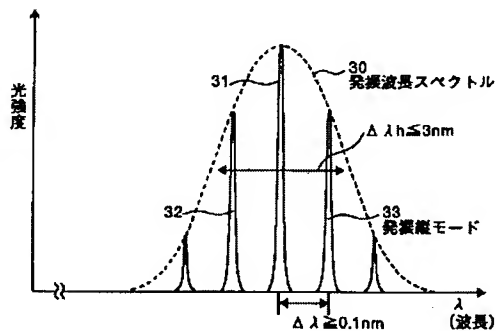
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ装置、半導体レーザモジュールおよびこれを用いたラマン増幅器

(57) 【要約】

【課題】 安定し、高利得を得ることができるラマン増幅器用光源に適した半導体レーザ装置、半導体レーザモジュールおよびこれを用いたラマン増幅器を得ること。

【解決手段】 レーザ光の出射端面に設けた第1反射膜と該レーザ光の反射端面に設けた第2反射膜との間に形成された活性層の近傍に回折格子を設け、該活性層が形成する共振器長と回折格子の波長選択特性とを含む発振パラメータの組み合わせ設定によって発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内に2本以上の発振縦モード31～33を含むレーザ光を出力するようにしている。この際、回折格子は、周期揺らぎを持たせるためのチャープドグレーティングとしてもよいし、一部分に設けてもよい。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光の出射端面に設けた第1反射膜と該レーザ光の反射端面に設けた第2反射膜との間に形成された活性層の近傍に回折格子を設け、前記活性層が形成する共振器長と前記回折格子の波長選択特性とを含む発振パラメータの組み合わせ設定によって発振波長スペクトルの半値幅内に2本以上の発振縦モードを含むレーザ光を出力することを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項2】 発振波長が1200～1550nmであることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ装置。

【請求項3】 前記発振波長スペクトルの半値幅は、3nm以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の半導体レーザ装置。

【請求項4】 前記活性層が形成する共振器長は、800μm以上であることを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項5】 前記活性層が形成する共振器長は、3200μm以下であることを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項6】 前記回折格子は、グレーティング周期に所定の周期揺らぎを持たせたことを特徴とする請求項1～5のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項7】 前記回折格子は、前記グレーティング周期をランダムまたは所定周期で変化させたグレーティングであることを特徴とする請求項6に記載の半導体レーザ装置。

【請求項8】 前記回折格子は、前記活性層に沿って、前記共振器長と同じ長さを有することを特徴とする請求項1～7のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項9】 前記回折格子は、前記活性層に沿った一部に設けられることを特徴とする請求項1～8のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項10】 前記回折格子は、レーザ光の前記第1反射膜近傍から前記第2反射膜側方向にあるいは前記第2反射膜近傍から前記第1反射膜側方向に、前記活性層に沿って一定長延びた部分回折格子であることを特徴とする請求項9に記載の半導体レーザ装置。

【請求項11】 前記発振パラメータは、前記回折格子の結合係数を含むことを特徴とする請求項1～10のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項12】 請求項1～11に記載の半導体レーザ装置と、前記半導体レーザ装置から出射されたレーザ光を外部に導波する光ファイバと、前記半導体レーザ装置と前記光ファイバと光結合を行う光結合レンズ系と、を備えたことを特徴とする半導体レーザモジュール。

【請求項13】 前記半導体レーザ装置の温度を制御す

る温度制御装置と、前記光結合レンズ系内に配置され、光ファイバ側からの反射戻り光の入射を抑制するアイソレータと、をさらに備えたことを特徴とする請求項12に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項14】 請求項1～11に記載の半導体レーザ装置、あるいは請求項12または13に記載の半導体レーザモジュールを広帯域ラマン増幅用の励起光源として用いたことを特徴とするラマン増幅器。

【請求項15】 請求項1～11に記載の半導体レーザ装置、あるいは請求項12または13に記載の半導体レーザモジュールは、広帯域ラマン増幅用の励起光源であって、前方励起用光源あるいは双方向励起方式における前方励起用光源として用いられることを特徴とするラマン増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、ラマン増幅用励起光源に適した半導体レーザ装置、半導体レーザモジュールおよびこれを用いたラマン増幅器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、インターネットをはじめとする様々なマルチメディアの普及に伴って、光通信に対する大容量化の要求が大きくなっている。従来、光通信では、光ファイバによる光の吸収が少ない波長である1310nmもしくは1550nmの帯域において、それぞれ単一の波長による伝送が一般的であった。この方式では、多くの情報を伝送するためには伝送経路に敷設する光ファイバの芯数を増やす必要があり、伝送容量の増加に伴ってコストが増加するという問題点があった。

【0003】そこで、高密度波長分割多重(DWDM: Dense-Wavelength Division Multiplexing)通信方式が用いられるようになった。このDWDM通信方式は、主にエルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier)を用い、この動作帯域である1550nm帯において、複数の波長を使用して伝送を行う方式である。このDWDM通信方式あるいはWDM通信方式では、1本の光ファイバを用いて複数の異なる波長の光信号を同時に伝送することから、新たな線路を敷設する必要がなく、ネットワークの伝送容量の飛躍的な増加をもたらすことを可能としている。

【0004】このEDFAを用いた一般的なWDM通信方式では、利得平坦化の容易な1550nm帯から実用化され、最近では、利得係数が小さいために利用されていなかった1580nm帯にまで拡大している。しかしながら、EDFAで増幅可能な帯域に比して光ファイバの低損失帯域の方が広いことから、EDFAの帯域外で動作する光増幅器、すなわちラマン増幅器への関心が高まっている。

【0005】ラマン増幅器は、エルビウムのような希土類イオンを媒体とした光増幅器においてはイオンのエネルギー準位によって利得波長帯が決まるのに対し、励起光の波長によって利得波長帯が決まるという特徴を持ち、励起光波長を選択することによって任意の波長帯を増幅することができる。

【0006】ラマン増幅では、光ファイバに強い励起光を入射すると、誘導ラマン散乱によって、励起光波長から約100nm程度長波長側に利得が現れ、この励起された状態の光ファイバに、この利得を有する波長帯域の信号光を入射すると、この信号光が増幅されるというものである。したがって、ラマン増幅器を用いたWDM通信方式では、EDFAを用いた通信方式に比して、信号光のチャネル数をさらに増加させることができる。

【0007】図26は、WDM通信システムに用いられる従来のラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図26において、ファブリペロー型の半導体発光素子180a～180dとファイバグレーティング181a～181dとがそれぞれ対となった半導体レーザモジュール182a～182dは、励起光のもとになるレーザ光を偏波合成カプラ61a、61bに出力する。各半導体レーザモジュール182a、182bが出力するレーザ光の波長は同じであるが、偏波合成カプラ61aによって各レーザ光の偏波面を90°異ならせている。同様に、各半導体レーザモジュール182c、182dが出力するレーザ光の波長は同じであるが、偏波合成カプラ61bによって各レーザ光の偏波面を90°異ならせている。偏波合成カプラ61a、61bは、それぞれ偏波合成したレーザ光をWDMカプラ62に出力する。なお、偏波合成カプラ61a、61bから出力されるレーザ光の波長は異なる。

【0008】WDMカプラ62は、偏波合成カプラ61a、61bから出力されたレーザ光を合波し、WDMカプラ65を介し、励起光として増幅用ファイバ64に出力する。この励起光が入力された増幅用ファイバ64には、増幅対象の信号光が、信号光入力ファイバ69からアイソレータ63を介して入力され、励起光と合波してラマン増幅される。

【0009】増幅用ファイバ64内においてラマン増幅された信号光（増幅信号光）は、WDMカプラ65およびアイソレータ66を介してモニタ光分配用カプラ67に入力される。モニタ光分配用カプラ67は、増幅信号光の一部を制御回路68に出力し、残りの増幅信号光を出力光として信号光出力ファイバ70に出力する。

【0010】制御回路68は、入力された一部の増幅信号光をもとに各半導体発光素子180a～180dの発光状態、たとえば光強度を制御し、ラマン増幅の利得帯域が平坦な特性となるようにフィードバック制御する。

【0011】図27は、ファイバグレーティングを用いた半導体レーザモジュールの概要構成を示す図である。

図27において、この半導体レーザモジュール201は、半導体発光素子202と光ファイバ203とを有する。半導体発光素子202は、活性層221を有する。活性層221は、一端に光反射面222が設けられ、他端に光出射面223が設けられる。活性層221内で生じた光は、光反射面222で反射して、光出射面223から出力される。

【0012】半導体発光素子202の光出射面223には、光ファイバ203が対向配置され、光出射面223と光結合される。光ファイバ203内のコア232には、光出射面223から所定位置にファイバグレーティング233が形成され、ファイバグレーティング233は、特定波長の光を選択的に反射する。すなわち、ファイバグレーティング233は、外部共振器として機能し、ファイバグレーティング233と光反射面222との間で共振器を形成し、ファイバグレーティング233によって選択された特定波長のレーザ光が増幅されて出力レーザ光241として出力される。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した半導体レーザモジュール201（182a～182d）は、ファイバグレーティング233と半導体発光素子202との間隔が長いと、ファイバグレーティング233と光反射面222との間の共振によって相対強度雑音（RIN:Relative Intensity Noise）が大きくなる。これは、RINスペクトルにおいて、半導体発光素子202の光反射面222とファイバグレーティング233との間の光の往復時間に対応した周波数毎にピーク値が発生するからである。ここで、ラマン増幅では、増幅の生じる過程が早く起こるため、励起光強度が揺らいでいると、ラマン利得も揺らぐことになり、このラマン利得の揺らぎがそのまま増幅された信号強度の揺らぎとして出力されてしまい、安定したラマン増幅を行わせることができないという問題点があった。

【0014】また、上述した半導体レーザモジュール201は、ファイバグレーティング233を有した光ファイバ203と、半導体発光素子202とを光結合する必要があり、組立時の光軸合わせに時間と労力がかかるとともに、共振器内における機械的な光結合であるために、レーザの発振特性が機械的振動などによって変化してしまうおそれがあり、安定した励起光を提供することができない場合が生じるという問題点があった。

【0015】なお、ラマン増幅器としては、図26に示したラマン増幅器のように信号光に対して後方から励起する後方励起方式のほかに、信号光に対して前方から励起する前方励起方式および双方向から励起する双方向励起方式がある。現在、ラマン増幅器として多用されているのは、後方励起方式である。その理由は、弱い信号光が強い励起光とともに同方向に進行する前方励起方式では、励起光強度のゆらぎが信号光に移りやすく、また、

4 光波混合などの非線形効果が起こりやすく、さらに、励起光の偏光依存性が現れやすいという問題があるからである。したがって、前方励起方式にも適用できる安定した励起光源の出現が要望されている。すなわち、従来のファイバグレーティングを用いた半導体レーザーモジュールを用いると、適用できる励起方式が制限されるという問題点があった。

【0016】また、ラマン増幅器におけるラマン増幅では、信号光の偏波方向と励起光の偏波方向とが一致することを条件としている。すなわち、ラマン増幅では、増幅利得の偏波依存性があり、信号光の偏波方向と励起光の偏波方向とのずれによる影響を小さくする必要がある。ここで、後方励起方式の場合、信号光は、伝搬中に偏波がランダムとなるため、問題は生じないが、前方励起方式の場合、偏波依存性が強く、励起光の直交偏波合成、デボライズなどによって偏波依存性を小さくする必要がある。すなわち、偏光度(DOP: Degree Of Polarization)を小さくする必要がある。

【0017】さらに、ラマン増幅は、得られる増幅率が比較的低いため、高出力のラマン増幅用励起光源の出現が望まれていた。

【0018】この発明は上記に鑑みてなされたもので、安定し、高利得を得ることができるラマン増幅器用光源に適した半導体レーザー装置および半導体レーザーモジュールを提供することを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1にかかる半導体レーザー装置は、レーザー光の出射端面に設けた第1反射膜と該レーザー光の反射端面に設けた第2反射膜との間に形成された活性層の近傍に回折格子を設け、前記活性層が形成する共振器長と前記回折格子の波長選択特性とを含む発振パラメータの組み合わせ設定によって発振波長スペクトルの半値幅内に2本以上の発振縦モードを含むレーザー光を出力することを特徴とする。

【0020】この請求項1の発明によれば、レーザー光の出射端面に設けた第1反射膜と該レーザー光の反射端面に設けた第2反射膜との間に形成された活性層の近傍に回折格子を設け、前記活性層が形成する共振器長と前記回折格子の波長選択特性とを含む発振パラメータの組み合わせ設定によって、波長が安定化され、かつ発振波長スペクトルの半値幅内に2本以上、好ましくは3本以上、より好ましくは4本以上の発振縦モードを含むレーザー光を出力するようにしている。

【0021】また、請求項2にかかる半導体レーザー装置は、上記の発明において、発振波長が1200～1550nmであることを特徴とする。

【0022】この請求項2の発明によれば、発振波長を1200～1550nmとし、光ファイバの伝送帯域に適した波長帯域の信号光のラマン増幅を行うようにして

いる。具体的に、発振波長が1200～1550nmの場合、ラマン増幅の利得波長帯域は1300～1650nmとなる。

【0023】また、請求項3にかかる半導体レーザー装置は、上記の発明において、前記発振波長スペクトルの半値幅は、3nm以下であることを特徴とする。

【0024】この請求項3の発明によれば、前記発振波長スペクトルの半値幅を、3nm以下とし、波長合成する際の合波ロスを小さくするようにしている。

【0025】また、請求項4にかかる半導体レーザー装置は、上記の発明において、前記活性層が形成する共振器長は、800μm以上であることを特徴とする。

【0026】この請求項4の発明によれば、前記活性層が形成する共振器長を、800μm以上とし、発振縦モードのモード間隔を短くすることによって、前記発振波長スペクトルの半値幅内に含まれる発振縦モード数を増大するようにしている。

【0027】また、請求項5にかかる半導体レーザー装置は、上記の発明において、前記活性層が形成する共振器長は、3200μm以下であることを特徴とする。

【0028】この請求項5の発明によれば、前記活性層が形成する共振器長を、3200μm以下とし、発振縦モードのモード間隔を0.1nm以上とし、ラマン増幅時における誘導ブリルアン散乱の影響を低減するようにしている。

【0029】また、請求項6にかかる半導体レーザー装置は、上記の発明において、前記回折格子は、グレーティング周期に所定の周期揺らぎを持たせたことを特徴とする。

【0030】この請求項6の発明によれば、前記回折格子のグレーティング周期に所定の周期揺らぎを持たせ、これによって発振波長スペクトルの半値幅を広げるようにしている。

【0031】また、請求項7にかかる半導体レーザー装置は、上記の発明において、前記回折格子は、前記グレーティング周期をランダムまたは所定周期で変化させたグレーティングであることを特徴とする。

【0032】この請求項7の発明によれば、前記回折格子を、前記グレーティング周期をランダムまたは所定周期で変化させたグレーティングとし、これによって回折格子に周期揺らぎを発生させ、発振波長スペクトルの半値幅を広げるようにしている。

【0033】また、請求項8にかかる半導体レーザー装置は、上記の発明において、前記回折格子は、前記活性層に沿って、前記共振器長と同じ長さを有することを特徴とする。

【0034】この請求項8の発明によれば、前記回折格子を、前記活性層に沿って、前記共振器長と同じ長さとし、当該半導体レーザー装置の製造を容易にしている。

【0035】また、請求項9にかかる半導体レーザー装置

は、上記の発明において、前記回折格子は、前記活性層に沿った一部に設けられることを特徴とする。

【0036】この請求項9の発明によれば、前記回折格子を、前記活性層に沿った一部に設けることによって、回折格子の長さを変化させ、これによって、発振波長スペクトルの半値幅を広げるようにしている。

【0037】また、請求項10にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記回折格子は、レーザ光の前記第1反射膜近傍から前記第2反射膜側方向にあるいは前記第2反射膜近傍から前記第1反射膜側方向に、前記活性層に沿って一定長延びた部分回折格子であることを特徴とする。

【0038】この請求項10の発明によれば、前記回折格子を、レーザ光の前記第1反射膜近傍から前記第2反射膜側方向にあるいは前記第2反射膜近傍から前記第1反射膜側方向に、前記活性層に沿って一定長延びた部分回折格子とし、部分回折格子の長さによる該部分回折格子の反射帯域の半値幅を変化させることによって発振波長スペクトルの半値幅を変化し、該半値幅内に含まれる発振縦モード数の複数化を行うとともに、このときの反射率の高低に対応して第1反射膜側あるいは第1反射膜側に部分回折格子を設けるようにしている。

【0039】また、請求項11にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記発振パラメータは、前記回折格子の結合係数を含むことを特徴とする。

【0040】この請求項11の発明によれば、前記発振パラメータに、前記回折格子の結合係数を含めるようにし、該回折格子の結合係数を変化させることによって、発振波長スペクトルの半値幅を変化させ、該半値幅内に含まれる発振縦モード数の複数化を行うようにしている。

【0041】また、請求項12にかかる半導体レーザモジュールは、請求項1～11に記載の半導体レーザ装置と、前記半導体レーザ装置から出射されたレーザ光を外部に導波する光ファイバと、前記半導体レーザ装置と前記光ファイバと光結合を行う光結合レンズ系とを備えたことを特徴とする。

【0042】この請求項12の発明によれば、ファイバグレーティングを用いない半導体レーザ装置を用いて該半導体レーザ装置の共振器が物理的に分離されていないため、光軸合わせなどを行う必要がなく、半導体レーザモジュールの組立が容易になるとともに、機械的振動などによってレーザの発振特性が変化しにくくなり、安定したレーザ光を信頼性高く、かつ安定して出力することができる。

【0043】また、請求項13にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記半導体レーザ装置の温度を制御する温度制御装置と、前記光結合レンズ系内に配置され、光ファイバ側からの反射戻り光の入射を抑制するアイソレータとをさらに備えたことを特徴と

する。

【0044】この請求項13の発明によれば、ファイバグレーティングを用いない半導体レーザ装置を用いているため、インライン式の偏波無依存型と異なり、小型の偏波無依存型アイソレータを使用することができ、挿入損失の小さい半導体レーザモジュールを実現することができる。

【0045】また、請求項14にかかるラマン増幅器は、請求項1～11に記載の半導体レーザ装置、あるいは請求項12または13に記載の半導体レーザモジュールを広帯域ラマン増幅用の励起光源として用いたことを特徴とする。

【0046】この請求項14の発明によれば、請求項1～11に記載の半導体レーザ装置、あるいは請求項12または13に記載の半導体レーザモジュールを広帯域ラマン増幅用の励起光源として用い、上述した各半導体レーザ装置あるいは各半導体レーザモジュールの作用効果を奏するようにしている。

【0047】また、請求項15にかかるラマン増幅器は、請求項1～11に記載の半導体レーザ装置、あるいは請求項12または13に記載の半導体レーザモジュールは、広帯域ラマン増幅用の励起光源であって、前方励起用光源あるいは双方向励起方式における前方励起用光源として用いられることを特徴とする。

【0048】この請求項15の発明によれば、請求項1～11に記載の半導体レーザ装置、あるいは請求項12または13に記載の半導体レーザモジュールを、広帯域ラマン増幅用の励起光源であって、前方励起用光源あるいは双方向励起方式における前方励起用光源として用い、上述した各半導体レーザ装置あるいは各半導体レーザモジュールの作用効果を奏するようにしている。

【0049】

【発明の実施の形態】以下に添付図面を参照して、この発明にかかる半導体レーザ装置および半導体レーザモジュールの好適な実施の形態について説明する。

【0050】(実施の形態1)まず、この発明の実施の形態1について説明する。図1は、この発明の実施の形態1である半導体レーザ装置の概要構成を示す斜めからみた破断図である。また、図2は、図1に示した半導体レーザ装置の長手方向の縦断面図である。さらに、図3は、図2に示した半導体レーザ装置のA-A線断面図である。図1～図3において、この半導体レーザ装置20は、n-I n P基板1の(100)面上に、順次、n-I n Pによるバッファ層と下部クラッド層とを兼ねたn-I n Pバッファ層2、GRIN-SCH-MQW(Graded Index-Separate Confinement Heterostructure Multi Quantum Well:分布屈折率分離閉込多重量子井戸)活性層3、p-I n Pスペーサ層4、およびp-I n Pクラッド層6、InGaAsPコンタクト層7が積層された構造を有する。

【0051】p-InPスペーサ層4内には、膜厚20nmを有したp-InGaAsPの回折格子13が、ピッチ約220nmで周期的に形成され、中心波長1.48μmのレーザ光を選択するようにしている。この回折格子13を含むp-InPスペーサ層4、GRIN-SCH-MQW活性層3、およびn-InPバッファ層2の上部は、メサストライプ状に加工され、メサストライプの両側は、電流ブロッキング層として形成されたp-InPブロッキング層8とn-InPブロッキング層9によって埋め込まれている。また、InGaAsPコンタクト層7の上面には、p側電極10が形成され、n-InP基板1の裏面には、n側電極11が形成される。

【0052】半導体レーザ装置20の長手方向の一端面である光反射端面には、反射率80%以上の高光反射率をもつ反射膜14が形成され、他端面である光出射端面には、反射率が5%以下の低光反射率をもつ出射側反射膜15が形成される。反射膜14と出射側反射膜15とによって形成された光共振器のGRIN-SCH-MQW活性層3内に発生した光は、反射膜14によって反射し、出射側反射膜15を介し、レーザ光として出射される。

【0053】この実施の形態1における半導体レーザ装置20は、発振波長 λ_0 が、1200nm～1550nmであり、共振器長Lを、800μm以上3200μm以下としている。ところで、一般に、半導体レーザ装置の共振器によって発生する縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は、等価屈折率を「n」とすると、次式で表すことができる。すなわち、

$$\Delta\lambda = \lambda_0^2 / (2 \cdot n \cdot L)$$

である。ここで、発振波長 λ_0 を1480nmとし、等価屈折率を3.5とすると、共振器長Lが800μmのとき、縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は、約0.39nmとなり、共振器長Lが3200μmのとき、縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は、約0.1nmとなる。すなわち、共振器長Lを長くすればするほど、縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は狭くなり、単一縦モードのレーザ光を発振するための選択条件が厳しくなる。

【0054】一方、回折格子13は、そのブラッグ波長によって縦モードを選択する。この回折格子13による選択波長特性は、図4に示す発振波長スペクトル30として表される。

【0055】図4に示すように、この実施の形態1では、回折格子13を有した半導体レーザ装置による発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda_h$ で示される波長選択特性内に、発振縦モードを複数存在させるようにしている。図4では、発振波長スペクトルの半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内に3つの発振縦モード31～33を有している。

【0056】複数の発振縦モードを有するレーザ光を用いると、単一縦モードのレーザ光を用いた場合に比して、各発振縦モードのレーザ出力のピーク値を抑えつ

つ、発振波長スペクトル全体で高いレーザ出力値を得ることができる。たとえば、この実施の形態1に示した半導体レーザ装置では、図5(b)に示すプロファイルを有し、低いピーク値で高レーザ出力を得ることができる。これに対し、図5(a)は、同じレーザ出力を得る場合の単一縦モード発振の半導体レーザ装置のプロファイルであり、高いピーク値を有している。

【0057】ここで、半導体レーザ装置をラマン増幅器の励起光源として用いる場合、ラマン利得を大きくするために励起光出力パワーを増大することが好ましいが、そのピーク値が高いと、誘導ブリルアン散乱が発生し、雑音が増加するという不具合が発生する。誘導ブリルアン散乱の発生は、誘導ブリルアン散乱が発生する閾値P_{th}を有し、同じレーザ出力パワーを得る場合、図5(b)に示すように、複数の発振縦モードを持たせ、そのピーク値を抑えることによって、誘導ブリルアン散乱の閾値P_{th}内で、高い励起光出力パワーを得ることができ、その結果、高いラマン利得を得ることが可能となる。

【0058】また、発振縦モード31～33の波長間隔(モード間隔) $\Delta\lambda$ は、0.1nm以上としている。これは、半導体レーザ装置20をラマン増幅器の励起光源として用いる場合、モード間隔 $\Delta\lambda$ が0.1nm以上であると、誘導ブリルアン散乱が抑えられる。この結果、上述したモード間隔 $\Delta\lambda$ の式によって、上述した共振器長Lが3200μm以下であることが好ましいことになる。なお、誘導ブリルアン散乱のスペクトルは、約0.1nmであり、この誘導ブリルアン散乱のスペクトル内に複数の発振縦モードが存在すると、個々の発振縦モードが誘導ブリルアン散乱の閾値P_{th}を超えなくても、このスペクトル幅内に存在する複数の発振縦モードの強度の和で、誘導ブリルアン散乱の閾値P_{th}を超えてしまう場合がある。このため、0.1nmの範囲内には、他の発振縦モードが存在しないことが望ましい。

【0059】このような観点から、発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内に含まれる発振縦モードの本数は、複数であることが望ましい。ところで、ラマン増幅では、増幅利得に偏波依存性があるため、信号光の偏波方向と励起光の偏波方向とのずれによる影響を小さくする必要がある。このための方法として、励起光を無偏光化(デポラライズ)する方法があり、具体的には、2台の半導体レーザ装置20からの出力光を方法のほか、デポラライズとして所定長の偏波面保持ファイバを用いて、1台の半導体レーザ装置20から出射されたレーザ光を、この偏波面保持ファイバに伝搬させる方法がある。無偏光化の方法として、後者の方法を使用する場合には、発振縦モードの本数が増大するに従ってレーザ光のコヒーレンシーが低くなるので、無偏光化に必要な偏波面保持ファイバの長さを短くすることができる。特に、発振縦モードが4、5本となると、急激に、必要な

偏波面保持ファイバの長さが短くなる。従って、ラマン増幅器に使用するために半導体レーザ装置20から出射されるレーザ光を無偏光化する場合に、2台の半導体レーザ装置の出射光を偏波合成して利用しなくても、1台の半導体レーザ装置20の出射レーザ光を無偏光化して利用することが容易となるので、ラマン増幅器に使用される部品数の削減、小型化を促進することができる。

【0060】ここで、発振波長スペクトル幅が広すぎると、波長合成カプラによる合波ロスが大きくなるとともに、発振波長スペクトル幅内における発振縦モードの動きによって、雑音や利得変動を発生させることになる。このため、発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda$ は、3nm以下、好ましくは2nm以下とする必要がある。

【0061】さらに、従来の半導体レーザ装置では、図15に示したように、ファイバグレーティングを用いた半導体レーザモジュールとしていたため、ファイバグレーティング233と光反射面222との間の共振によって相対強度雑音(RIN)が大きくなり、安定したラマン増幅を行うことができないが、この実施の形態1に示した半導体レーザ装置20では、ファイバグレーティング233を用いず、出射側反射膜15から出射したレーザ光をそのまま、ラマン増幅器の励起用光源として用いているため、相対強度雑音が小さくなり、その結果、ラマン利得の揺らぎが小さくなり、安定したラマン増幅を行わせることができる。

【0062】また、図27に示した半導体レーザモジュールでは、半導体発光素子202の光反射面222と光出射面223とが形成する共振器構造によって増幅された微弱なレーザ光が出力され、本来、光反射面222とファイバグレーティング233とによって選択されるレーザ光に影響を与え、注入電流—光出力特性上にキックを生じさせ、光出力を不安定なものにするという不具合があったが、この実施の形態1の半導体レーザ装置20では、ファイバグレーティング233を用いていないため、安定した光出力を得ることができる。この結果、ラマン増幅器の励起用光源として用いる場合に、安定したラマン増幅を行わせることができる。

【0063】さらに、図27に示した半導体レーザモジュールでは、ファイバグレーティング233を有する光ファイバ203と半導体発光素子202とを光結合させる必要があるため、半導体レーザ装置の組立時における光軸合わせが必要となり、そのための時間と労力とがかかるが、この実施の形態1の半導体レーザ装置では、共振器ではなく、光出力のための光軸合わせであるため、その組立が容易となる。また、図27に示した半導体レーザモジュールでは、共振器内に機械的な結合を必要とするため、振動などによってレーザの発振特性が変化する場合が発生するが、この実施の形態1の半導体レーザ装置では、機械的な振動などによるレーザの発振特性の変化がなく、安定した光出力を得ることができる。

【0064】この実施の形態1によれば、半導体レーザ装置20が回折格子13によって波長選択を行い、発振波長を1200~1550 μ m帯とし、共振器長Lを800~3200 μ m帯とすることによって、発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda$ h内に複数の発振縦モード、好ましくは4本以上の発振縦モードをもつレーザ光を出力するようにしているため、ラマン増幅器の励起用光源として用いた場合に、誘導ブリルアン散乱を発生せずに、安定し、かつ高いラマン利得を得ることができる。

【0065】また、ファイバグレーティングを用いた半導体レーザモジュールのように、ファイバグレーティングをもつ光ファイバと半導体発光素子との光結合を共振器内において行わないので、組立が容易となり、機械的振動などによる不安定出力を回避することができる。

【0066】(実施の形態2) つぎに、この発明の実施の形態2について説明する。上述した実施の形態1では、共振器長Lを長くすることによって、発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda$ h内の縦モード数が複数となるようにしていたが、この実施の形態2では、回折格子13のグレーティング長LGあるいは結合係数を変化させることによって、発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda$ hを変化させ、これによって半値幅 $\Delta\lambda$ h内の縦モード数が相対的に複数となるようにしている。

【0067】図6は、この発明の実施の形態2である半導体レーザ装置の概要構成を示す長手方向の縦断面図である。この半導体レーザ装置は、図1~図3に示した半導体レーザ装置20の回折格子13に対応する回折格子43の構成が、半導体レーザ装置20と異なるとともに、出射側反射膜15の反射率が異なる。その他の構成は、半導体レーザ装置20と同じであり、同一構成部分には、同一符号を付している。

【0068】回折格子43は、反射率0.1~2%の低光反射率をもつ出射側反射膜15から反射率80%以上の高光反射率をもつ反射膜14側に向けて所定長LG1分、形成され、所定長LG1以外のp-I-nPスペーサ層4には、回折格子43が形成されない。

【0069】また、図7は、この発明の実施の形態2の変形例である半導体レーザ装置の概要構成を示す長手方向の縦断面図である。この半導体レーザ装置は、図6に示した回折格子43に代えて、反射膜14側に設けた回折格子44を有するとともに、反射膜14の反射率を低光反射率としている。すなわち、回折格子44は、反射率0.1~2%の低光反射率をもつ反射膜14から反射率1~5%の低光反射率をもつ出射15側に向けて所定長LG2分、形成され、所定長LG2以外のp-I-nPスペーサ層4には、回折格子44が形成されない。

【0070】さらに、図8は、この発明の実施の形態2の変形例である半導体レーザ装置の概要構成を示す長手方向の縦断面図である。この半導体レーザ装置は、図6に示した回折格子43および図7に示した回折格子44

の構成を適用したものである。

【0071】すなわち、この半導体レーザ装置は、反射率0.1～2%の低光反射率をもつ出射側反射膜15から反射率0.1～2%の低光反射率をもつ反射膜14側に向けて所定長LG3分、形成された回折格子45と、この反射膜14から出射側反射膜15側に向けて所定長LG4分、形成された回折格子46とを有する。

【0072】図6～図8に示した回折格子43～46の所定長LG1～LG4を変化させることによって、発振縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ が固定的であっても、図4に示した発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda_h$ を変化させることができる。

【0073】すなわち、発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda_h$ を広くするためには、回折格子の長さを短くすることも有効である。このため、実施の形態1に示したように、回折格子を共振器(GRIN-SCH-MQW活性層3)の長さ全体に施すのではなく、この共振器の一部に形成するようにする。

【0074】この場合、共振器に対する回折格子の位置によっては、位相発振条件がずれ、これによってレーザ発振特性が悪化するおそれがあるため、図6に示したように、回折格子43を、出射側反射膜15を起点として反射膜14方向に、共振器の途中まで延ばして形成する場合、出射側反射膜15として0.1～2%の反射率をもつ低光反射コートを施し、反射膜14として80%以上の反射率をもつ高反射コートを施すようにする。また、図7に示したように、回折格子44を、反射膜14を起点として出射側反射膜15方向に、共振器の途中まで延ばして形成する場合、反射膜14として0.1～2%の反射率をもつ低光反射コートを施し、出射側反射膜15として反射率1～5%の反射率をもつ低反射コートを施すようにする。さらに、図8に示したように、回折格子45、46をそれぞれ出射側反射膜15側および反射膜14側に形成する場合、出射側反射膜15および反射膜14として、ともに反射率0.1～2%の低光反射コートを施す。

【0075】また、図6に示したように、回折格子を出射側反射膜15側に形成する場合、回折格子43自体の反射率を低めに設定し、図7に示したように、回折格子を反射膜14側に形成する場合、回折格子44自体の反射率を高めに設定することが好ましい。また、図8に示したように、回折格子を出射側反射膜15側および反射膜14側の双方に形成する場合、回折格子45自体の反射率を低めに設定し、回折格子46自体の反射率を高めに設定する。これによって、回折格子43～46による波長選択特性を満足させつつ、反射膜14および出射側反射膜15によるファブリペロー型共振器の影響を小さくすることができる。

【0076】具体的に、図6に示した半導体レーザ装置では、発振波長 λ_0 が1480nmであり、共振器長L

が1300 μm であり、回折格子43のグレーティング長LG1が220 μm 、結合係数 κ_{ic} (cm^{-1})とグレーティング長LG1との積 $\kappa_{ic} \cdot \text{LG1}$ が0.093である。また、図7に示した半導体レーザ装置では、共振器長Lが1300 μm であり、回折格子44のグレーティング長LG2が400 μm 、結合係数 κ_{ic} とグレーティング長LG2との積 $\kappa_{ic} \cdot \text{LG2}$ が2.97である。このような回折格子43、44を適用した場合、発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda_h$ は、1～2nmとなり、半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内に3～5本程度の発振縦モードを含ませることができる。

【0077】ここで、図9は、複数の発振縦モードが出力されたスペクトル図であり、図9では、安定した3本の発振縦モードをもつレーザ光を出力している。なお、図9に示したスペクトルは、図6に示した半導体レーザ装置の構成に対応し、グレーティング長LG1=100 μm 、共振器長L=1300 μm 、回折格子の結合係数 κ_{ic} とグレーティング長LG1との積 $\kappa_{ic} \cdot \text{LG1}$ =0.11、出射側反射膜15の反射率が0.1%、反射膜14の反射率が97%、駆動電流 I_{op} =700mAのときに、1480nm近傍において3本の発振縦モード出力で210mWの光出力を得、半値幅 $\Delta\lambda_h$ は、0.5～0.6nmとなっている。この場合におけるファースフィールドパターン(FFP:Far Field Pattern)の半値幅(FWHM:Full Width Half Maximum)は、水平方向の半値幅が16～18度であり、垂直方向の半値幅が21～24度となる。

【0078】さらに、図10は、図6に示した半導体レーザ装置の構成に対応し、グレーティング長LG1=30 μm 、共振器長L=1300 μm 、回折格子の結合係数 $\kappa_{ic}=20\text{cm}^{-1}$ 、結合係数 κ_{ic} とグレーティング長LG1との積 $\kappa_{ic} \cdot \text{LG1}$ =0.06のI-L(駆動電流 I_{op} に対する光出力Po)特性を示す図である。図11に示されたI-L特性は、十数mAから1500mA程度まで、大きなキックが発生しておらず、駆動電流 I_{op} が1200mA近傍で約400mWの高出力かつ高効率動作を安定して行うことができることを示している。

【0079】なお、図6～図8では、回折格子43～46を、出射側反射膜15側または反射膜14側、あるいは出射側反射膜15側および反射膜14側に設けたが、これに限らず、GRIN-SCH-MQW活性層3に沿って、共振器長Lに対して部分的な長さをもつ回折格子を形成するようにしてもよい。ただし、回折格子の反射率を考慮することが好ましい。

【0080】この実施の形態2では、共振器長Lに対する回折格子の長さを部分的なものとし、この回折格子のグレーティング長LGおよび結合係数 κ_{ic} を適切に変化させることによって、所望の発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda_h$ を得ることができ、この半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内に複数の発振縦モードをもつレーザ光を発振させること

ができ、実施の形態1と同様な作用効果をもった半導体レーザ装置を実現することができる。

【0081】(実施の形態3) つぎに、この発明の実施の形態3について説明する。上述した実施の形態1では、回折格子13のグレーティング周期は一定であったが、この実施の形態3では、回折格子13のグレーティング周期を周期的に変化させたチャープドグレーティングを用い、これによって、回折格子の波長選択特性に揺らぎを発生させ、発振波長スペクトル30の半値幅 $\Delta\lambda_h$ を広げて、半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内の発振縦モード数が相対的に複数となるようにしている。すなわち、図11に示すように、半値幅 $\Delta\lambda_h$ を半値幅 w_c に広げて、半値幅 w_c 内に含まれる発振縦モードの本数を増大するようにしている。

【0082】図12は、この発明の実施の形態3である半導体レーザ装置の概要構成を示す長手方向の縦断面図である。この半導体レーザ装置では、図1～図3に示した半導体レーザ装置20の回折格子13のグレーティング周期を周期的に変化させたチャープドグレーティングである回折格子47を有している。その他の構成は、半導体レーザ装置20と同じであり、同一構成部分には、同一符号を付している。

【0083】図13は、回折格子47のグレーティング周期の周期的変化を示す図である。図13に示すように、この回折格子47は、平均周期が220nmであり、 ± 0.02 nmの周期揺らぎ(偏差)を周期Cで繰り返す構造を有している。この ± 0.02 nmの周期揺らぎによって回折格子47の反射帯域は、約2nmの半値幅を有し、これによって、発振波長スペクトルの半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内に3～6本程度の発振縦モードを持たせることができる。

【0084】上述した実施の形態3では、共振器長Lに等しいチャープドグレーティングを形成するようにしていたが、これに限らず、実施の形態2に示したようにチャープドグレーティングの回折格子を、共振器長Lに対して部分的に配置するようにしてもよい。すなわち、上述した実施の形態3に示したチャープドグレーティングを実施の形態2に適用するようにしてもよい。

【0085】また、上述した実施の形態3では、一定の周期Cでグレーティング周期を変化させるチャープドグレーティングとしたが、これに限らず、グレーティング周期を、周期 Λ_1 (220nm+0.02nm)と周期 Λ_2 (220nm-0.02nm)との間で、ランダムに変化させるようにしてもよい。

【0086】さらに、図14(a)に示すように、周期 Λ_1 、周期 Λ_2 とを1回ずつ交互に繰り返す回折格子として、周期揺らぎを持たせるようにしてもよい。また、図14(b)に示すように、周期 Λ_3 と周期 Λ_4 とをそれぞれ複数回、交互に繰り返す回折格子として、周期揺らぎを持たせるようにしてもよい。さらに、図14(c)に

示すように、連続する複数回の周期 Λ_5 と連続する複数回の周期 Λ_6 とをもつ回折格子として、周期揺らぎを持たせるようにしてもよい。また、周期 Λ_1 、 Λ_3 、 Λ_5 と周期 Λ_2 、 Λ_4 、 Λ_6 との間の離散的な異なる値をもつ周期をそれぞれ補充して配置するようにしてもよい。

【0087】この実施の形態3では、半導体レーザ装置に設けられる回折格子をチャープドグレーティングなどによって、平均周期に対して $\pm 0.01 \sim 0.2$ nm程度の周期揺らぎをもたせ、これによって、反射帯域の半値幅を所望の値に設定し、最終的に発振波長スペクトルの半値幅 $\Delta\lambda_h$ を決定し、半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内に複数の発振縦モードが含まれるレーザ光を出力するようにし、実施の形態1あるいは実施の形態2と同様な作用効果をもった半導体レーザ装置を実現することができる。

【0088】(実施の形態4) つぎに、この発明の実施の形態4について説明する。この実施の形態4では、上述した実施の形態1～3で示した半導体レーザ装置をモジュール化したものである。

【0089】図15は、この発明の実施の形態4である半導体レーザモジュールの構成を示す縦断面図である。図15において、この半導体レーザモジュール50は、上述した実施の形態1～3で示した半導体レーザ装置に対応する半導体レーザ装置51を有する。半導体レーザモジュール50の筐体として、Cu-W合金などによって形成されたパッケージ59の内部底面上に、温度制御装置としてのペルチェモジュール58が配置される。ペルチェモジュール58上にはベース57が配置され、このベース57上にはヒートシンク57aが配置される。ペルチェモジュール58には、図示しない電流が与えられ、その極性によって冷却および加熱を行うが、半導体レーザ装置51の温度上昇による発振波長ずれを防止するため、主として冷却器として機能する。すなわち、ペルチェモジュール58は、レーザ光が所望の波長に比して長い波長である場合には、冷却して低い温度に制御し、レーザ光が所望の波長に比して短い波長である場合には、加熱して高い温度に制御する。この温度制御は、具体的に、ヒートシンク57a上であって、半導体レーザ装置51の近傍に配置されたサーミスタ58aの検出値をもとに制御され、図示しない制御装置は、通常、ヒートシンク57aの温度が一定に保たれるようにペルチェモジュール58を制御する。また、図示しない制御装置は、半導体レーザ装置51の駆動電流を上昇させるに従って、ヒートシンク57aの温度が下がるようにペルチェモジュール58を制御する。このような温度制御を行うことによって、半導体レーザ装置51の波長安定性を向上させることができ、歩留まりの向上にも有効となる。なお、ヒートシンク57aは、たとえばダイヤモンドなどの高熱伝導率をもつ材質によって形成することが望ましい。これは、ヒートシンク57aがダイヤモンドで形成されると、高電流注入時の発熱が抑制されるから

である。この場合、波長安定性がさらに向上し、しかも温度制御も容易になる。

【0090】ベース57上には、半導体レーザ装置51およびサーミスタ58aを配置したヒートシンク57a、第1レンズ52、およびモニタフォトダイオード56が配置される。半導体レーザ装置51から出射されたレーザ光は、第1レンズ52、アイソレータ53、および第2レンズ54を介し、光ファイバ55上に導波される。第2レンズ54は、レーザ光の光軸上であって、パッケージ59上に設けられ、外部接続される光ファイバ55に光結合される。なお、モニタフォトダイオード56は、半導体レーザ装置51の反射膜側から漏れた光をモニタ検出する。

【0091】ここで、この半導体レーザモジュール50では、他の光学部品などによる反射戻り光が共振器内に再入力しないように、半導体レーザ装置51と光ファイバ55との間にアイソレータ53を介在させている。このアイソレータ53には、ファイバグレーティングを用いた従来の半導体レーザモジュールと異なり、インライン式の偏波無依存型でなく、小型の偏波依存型アイソレータを用いることができるため、さらに低い相対強度雑音(RIN)を達成することができ、アイソレータによる挿入損失を小さくすることができる。

【0092】さらに、この実施の形態4の半導体レーザモジュールによる温度制御の具体例について説明する。図16は、駆動電流 I_{op} とサーミスタ58aの温度 T_s との関係を示す図である。図16において、直線L1は、駆動電流 I_{op} の増減にかかわらず、サーミスタ58aが検出する温度 T_s を一定の温度、たとえば25℃に制御する場合を示している。これに対し、この実施の形態では、GRIN-SCH-MQW活性層3の温度 T_j が、常に一定となる(直線L2参照)サーミスタ58aの温度 T_s の関係である制御関数 $F_{S1} \sim F_{S3}$ 、たとえば制御関数 F_{S2} を求め、駆動電流 I_{op} の値を制御関数 F_{S2} に入力した場合の温度が、サーミスタ58aの温度 T_s となるように、ペルチェモジュール58を制御するようにしている。たとえば、制御関数 F_{S2} による温度制御を行うことによって、発振波長は波長 λ_2 に一定となることから、発振波長のシフトに伴う発振波長のジャンプがなくなり、I-L特性上のキックが減少し、発振波長の動的安定性が得られることになる。また、制御関数 F_{S1} 、 F_{S3} に基づいた温度制御を行うことによって、それぞれ一定の発振波長 λ_1 、 λ_3 に波長制御することができる。

【0093】図17は、制御関数 $F_{S1} \sim F_{S3}$ に基づいた波長制御結果を示す図である。図17において、特性L3は、直線L1に基づいて温度制御を行った場合における発振波長 λ の変化を示しており、駆動電流 I_{op} が100mA~1200mAに増大するに従って発振波長 λ が長波長側にシフトし、約2nmシフトしている。こ

れに対して、制御関数 $F_{S1} \sim F_{S3}$ に基づいて温度制御を行った場合には、駆動電流 I_{op} が100mA~1200mAに増大しても、それぞれ一定の発振波長 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ を維持している。たとえば、制御関数 F_{S2} に基づいた温度制御を行った場合における波長は、駆動電流 I_{op} の増減にかかわらず、 $\lambda_2 \pm 0.5$ nmの精度を維持し、ラマン増幅用光源として好適な安定した波長のレーザ光を出力することができる。なお、図16および図17に示した黒い四角印および黒い菱形印は、それぞれ実測値である。

【0094】この実施の形態4では、実施の形態1~3で示した半導体レーザ装置をモジュール化しているため、大型のアイソレータを用いることができ、挿入損失を小さくすることができ、低雑音化および部品点数の減少を促進することができる。

【0095】(実施の形態5) つぎに、この発明の実施の形態5について説明する。この実施の形態5では、上述した実施の形態4に示した半導体レーザモジュールをラマン増幅器に適用したものである。

【0096】図18は、この発明の実施の形態5であるラマン増幅器の構成を示すブロック図である。このラマン増幅器は、WDM通信システムに用いられる。図18において、このラマン増幅器は、上述した実施の形態4に示した半導体レーザモジュールと同一構成の半導体レーザモジュール60a~60dを用い、図26に示した半導体レーザモジュール182a~182dを、上述した半導体レーザモジュール60a~60dに置き換えた構成となっている。

【0097】各半導体レーザモジュール60a、60bは、偏波面保持ファイバ71を介して、複数の発振縦モードを有するレーザ光を偏波合成カプラ61aに出力し、各半導体レーザモジュール60c、60dは、偏波面保持ファイバ71を介して、複数の発振縦モードを有するレーザ光を偏波合成カプラ61bに出力する。ここで、半導体レーザモジュール60a、60bが発振するレーザ光は、同一波長である、また、半導体レーザモジュール60c、60dが発振するレーザ光は、同一波長であるが半導体レーザモジュール60a、60bが発振するレーザ光の波長とは異なる。これは、ラマン増幅が偏波依存性を有するためであり、偏波合成カプラ61a、61bによって偏波依存性が解消されたレーザ光として出力するようにしている。

【0098】各偏波合成カプラ61a、61bから出力された異なる波長をもったレーザ光は、WDMカプラ62によって合成され、合成されたレーザ光は、WDMカプラ65を介してラマン増幅用の励起光として増幅用ファイバ64に出力される。この励起光が入力された増幅用ファイバ64には、増幅対象の信号光が入力され、ラマン増幅される。

【0099】増幅用ファイバ64内においてラマン増幅

された信号光（増幅信号光）は、WDMカプラ65およびアイソレータ66を介してモニタ光分配用カプラ67に入力される。モニタ光分配用カプラ67は、増幅信号光の一部を制御回路68に出力し、残りの増幅信号光を出力光として信号光出力ファイバ70に出力する。

【0100】制御回路68は、入力された一部の増幅信号光をもとに各半導体レーザモジュール60a～60dのレーザ出力状態、たとえば光強度を制御し、ラマン増幅の利得帯域が平坦な特性となるようにフィードバック制御する。

【0101】この実施の形態5に示したラマン増幅器では、たとえば図26に示した半導体発光素子180aとファイバグレーティング181aとが偏波面保持ファイバ71aで結合された半導体レーザモジュール182aを用いず、実施の形態1～3で示した半導体レーザ装置が内蔵された半導体レーザモジュール60aを用いるようにしているので、偏波面保持ファイバ71aの使用を削減することができる。なお、上述したように、各半導体レーザモジュール60a～60dは、複数の発振縦モードを有しているため、偏波面保持ファイバ長を短くすることができる。この結果、ラマン増幅器の小型軽量化とコスト削減を実現することができる。

【0102】なお、図18に示したラマン増幅器では、偏波合成カプラ61a、61bを用いているが、図19に示すように半導体レーザモジュール60a、60cから、それぞれ偏波面保持ファイバ71を介して直接WDMカプラ62に光出力するようにしてもよい。この場合、半導体レーザモジュール60a、60cの偏波面は、偏波面保持ファイバ71に対して45度となるように入射する。ここで、上述したように、各半導体レーザモジュール60a、60cは、複数の発振縦モードを有しているため、偏波面保持ファイバ長71を短くすることができる。これによって、偏波面保持ファイバ71から出力される光出力の偏波依存性をなくすことができ、一層、小型かつ部品点数の少ないラマン増幅器を実現することができる。

【0103】また、半導体レーザモジュール60a～60d内に内蔵される半導体レーザ装置として発振縦モード数が多い半導体レーザ装置を用いると、必要な偏波面保持ファイバ71の長さを短くすることができる。特に、発振縦モードが4、5本になると、急激に、必要な偏波面保持ファイバ71の長さが短くなるため、ラマン増幅器の簡素化と小型化を促進することができる。さらに、発振縦モードの本数が増大すると、コヒーレント長が短くなり、デポラライズによって偏光度（DOP：Degree Of Polarization）が小さくなり、偏波依存性をなくすことが可能となり、これによっても、ラマン増幅器の簡素化と小型化とを一層促進することができる。

【0104】また、上述した実施の形態1～3が有する作用効果をラマン増幅器に与えることができる。たと

ば、ファイバグレーティングを用いた半導体レーザモジュールに比して相対強度雑音（RIN）を低減することができるので、ラマン増幅の揺らぎを抑えることができ、安定したラマン増幅を行うことができる。たとえば、図20は、図6に示した半導体レーザ装置に対する駆動電流 I_{op} が300mA以上のときに、周波数0.1～15GHzの信号光を増幅した場合の相対強度雑音を示す雑音スペクトル図である。図20に示すように、相対強度雑音（RIN）は、 -150 dB/Hz 以下であり、低雑音化が促進されたラマン増幅器を実現している。

【0105】さらに、このラマン増幅器では、ファイバグレーティングを用いた半導体レーザモジュールに比して光軸合わせが容易であり、共振器内に機械的な光結合がないため、この点からも、ラマン増幅の安定性、信頼性を高めることができる。

【0106】さらに、上述した実施の形態1～3の半導体レーザ装置では、複数の発振モードを有しているため、誘導ブリルアン散乱を発生させずに、高出力の励起光を発生することができるので、安定し、かつ高いラマン利得を得ることができる。

【0107】また、図18および図19に示したラマン増幅器は、後方励起方式であるが、上述したように、半導体レーザモジュール60a～60dが安定した励起光を出力するため、前方励起方式であっても、双方向励起方式であっても、安定したラマン増幅を行うことができる。

【0108】たとえば、図21は、前方励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図21に示したラマン増幅器は、図18に示したラマン増幅器にWDMカプラ65'をアイソレータ63の近傍に設けている。このWDMカプラ65'には、半導体レーザモジュール60a～60d、偏波合成カプラ61a、61bおよびWDMカプラ62にそれぞれ対応した半導体レーザモジュール60a'～60d'、偏波合成カプラ61a'、61b'およびWDMカプラ62'を有した回路が接続され、WDMカプラ62'から出力される励起光を信号光と同じ方向に出力する前方励起を行う。この場合、半導体レーザモジュール60a'～60d'は、上述した実施の形態1～4で用いられる半導体レーザ装置を用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行うことができる。

【0109】同様に、図22は、前方励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図22に示したラマン増幅器は、図19に示したラマン増幅器にWDMカプラ65'をアイソレータ63の近傍に設けている。このWDMカプラ65'には、半導体レーザモジュール60a、60cおよびWDMカプラ62にそれぞれ対応した半導体レーザモジュール60a'、60c'およびWDMカプラ62'を有した回路が接続され、

10

20

30

40

50

WDMカプラ62'から出力される励起光を信号光と同じ方向に出力する前方励起を行う。この場合、半導体レーザモジュール60a', 60c'は、上述した実施の形態1~4で用いられる半導体レーザ装置を用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行うことができる。

【0110】また、図23は、双方向励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図23に示したラマン増幅器は、図18に示したラマン増幅器の構成に、図21に示したWDMカプラ65'、半導体レーザモジュール60a'~60d'、偏波合成カプラ61a', 61b'およびWDMカプラ62'をさらに設け、後方励起と前方励起とを行う。この場合、半導体レーザモジュール60a'~60d'は、上述した実施の形態1~4で用いられる半導体レーザ装置を用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行うことができる。

【0111】同様に、図24は、双方向励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図24に示したラマン増幅器は、図19に示したラマン増幅器の構成に、図22に示したWDMカプラ65'、半導体レーザモジュール60a', 60c'およびWDMカプラ62'をさらに設け、後方励起と前方励起とを行う。この場合、半導体レーザモジュール60a', 60c'は、上述した実施の形態1~4で用いられる半導体レーザ装置を用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行うことができる。

【0112】なお、上述した前方励起方式あるいは双方向励起方式における前方励起に用いられるラマン増幅器用光源は、共振器長Lが800μm未満であってもよい。共振器長Lを800μm未満とすると、上述したように発振縦モードのモード間隔Δλが狭くなり、ラマン増幅器用光源として用いる場合に発振縦モードの本数が少なくなり、大きな光出力を得ることができなくなるが、前方励起は後方励起に比較して低出力で済むため、必ずしも共振器長Lが800μm以上である必要はない。

【0113】上述した図18、図19、図21~図24に示したラマン増幅器は、上述したようにWDM通信システムに適用することができる。図25は、図18、図19、図21~図24に示したラマン増幅器を適用したWDM通信システムの概要構成を示すブロック図である。

【0114】図25において、複数の送信機Tx1~Txnから送出された波長λ₁~λ_nの光信号は、光合波器80によって合波され、1つの光ファイバ85に集約される。この光ファイバ85の伝送路上には、図18、図19、図21~図24に示したラマン増幅器に対応した複数のラマン増幅器81、83が距離に応じて配置され、減衰した光信号を増幅する。この光ファイバ85上を伝送した信号は、光分波器84によって、複数の波長

λ₁~λ_nの光信号に分波され、複数の受信機Rx1~Rxnに受信される。なお、光ファイバ85上には、任意の波長の光信号を付加し、取り出したりするADM (Add/Drop Multiplexer) が挿入される場合もある。

【0115】なお、上述した実施の形態5では、実施の形態1~3に示した半導体レーザ装置あるいは実施の形態4に示した半導体レーザモジュールを、ラマン増幅器の励起光源に用いる場合を示したが、これに限らず、たとえば、0.98μmなどのEDFA励起用光源として用いることができるのは明らかである。

【0116】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1の発明によれば、レーザ光の出射端面に設けた第1反射膜と該レーザ光の反射端面に設けた第2反射膜との間に形成された活性層の近傍に回折格子を設け、前記活性層が形成する共振器長と前記回折格子の波長選択特性とを含む発振パラメータの組み合わせ設定によって波長が安定化され、かつ発振波長スペクトルの半値幅内に2本以上、好ましくは3本以上の発振縦モードを含むレーザ光を出力するようにしているので、複数の発振縦モードの存在によって光出力ピーク値を抑えて、光出力パワーを増大させることができ、ラマン増幅器に用いた場合に、誘導ブリルアン散乱を抑えつつ、高いラマン増幅を行うことができるという効果を奏する。また、ファイバグレーティングを用いず、第1反射膜からの出射光をそのままラマン増幅器用の励起用光源として用いているため、従来のファイバグレーティングを用いた半導体レーザ装置に比して、相対強度雑音が低減され、ラマン増幅器に用いた場合に安定したラマン増幅を行うことができるという効果を奏する。

【0117】また、共振器が物理的に分離されていないため、光軸合わせなどを行う必要がなく、組立が容易になるとともに、機械的振動などによってレーザの発振特性が変化しにくくなり、安定したレーザ光を信頼性高く出力することができ、ラマン増幅器に用いた場合に安定かつ信頼性の高いラマン増幅を行うことができるという効果を奏する。

【0118】また、複数の発振縦モードの存在によって、デポラライズのために使用する偏波面保持ファイバ長を短くすることができるという効果を奏する。

【0119】さらに、当該半導体レーザ装置内の回折格子によって波長ロックを行うようにしているので、出力されたレーザ光を導く光ファイバからの反射戻り光の入射を防ぐためのアイソレータの組み込みが容易になるという効果を奏する。

【0120】また、ファイバグレーティングを用いた半導体レーザ装置に生じる注入電流-光出力特性上のキンクの発生を抑えることができ、安定したレーザ光を出力することができるという効果を奏する。

【0121】また、請求項2の発明によれば、発振波長

10

20

30

40

50

を1200～1550nmとしているので、光ファイバの伝送帯域に適した波長帯域の信号光のラマン増幅を行うことができるという効果を奏する。

【0122】また、請求項3の発明によれば、前記発振波長スペクトルの半値幅を、3nm以下、好ましくは2nm以下としているので、ラマン増幅時の波長合成を効率的に行うことができるという効果を奏する。

【0123】また、請求項4の発明によれば、前記活性層が形成する共振器長を、800μm以上とし、発振縦モードのモード間隔を短くすることによって、前記発振波長スペクトルの半値幅内に含まれる発振縦モード数を増大するようにしているの、発振波長スペクトルの半値幅内に含まれる発振縦モードの複数化を容易に行うことができるという効果を奏する。

【0124】また、請求項5の発明によれば、前記活性層が形成する共振器長を、3200μm以下とし、発振縦モードのモード間隔を0.1nm以上とし、ラマン増幅時における誘導ブリルアン散乱の影響を低減するようにしているの、安定したラマン利得を得ることができるという効果を奏する。

【0125】また、請求項6の発明によれば、前記回折格子のグレーティング周期に所定の周期揺らぎを持たせ、これによって発振波長スペクトルの半値幅を広げるようにしているの、発振波長スペクトルの半値幅内に含まれる発振縦モード数の複数化を容易に行うことができるという効果を奏する。

【0126】また、請求項7の発明によれば、前記回折格子を、前記グレーティング周期をランダムまたは所定周期で変化させたグレーティングとし、これによって回折格子に周期揺らぎを発生させ、発振波長スペクトルの半値幅を広げるようにしているの、発振波長スペクトルの半値幅内に含まれる発振縦モード数の複数化を容易に行うことができるという効果を奏する。

【0127】また、請求項8の発明によれば、前記回折格子を、前記活性層に沿って、前記共振器長と同じ長さとしているの、当該半導体レーザ装置の製造を容易にすることができるという効果を奏する。

【0128】また、請求項9の発明によれば、前記回折格子を、前記活性層に沿った一部に設けることによって、回折格子の長さを変化させ、これによって、発振波長スペクトルの半値幅を広げるようにしているの、発振波長スペクトルの半値幅内に含まれる発振縦モード数の複数化を容易に行うことができるという効果を奏する。

【0129】また、請求項10の発明によれば、前記回折格子を、レーザ光の前記第1反射膜近傍から前記第2反射膜側方向にあるいは前記第2反射膜近傍から前記第1反射膜側方向に、前記活性層に沿って一定長延びた部分回折格子とし、部分回折格子の長さによる該部分回折格子の反射帯域の半値幅を変化させることによって発振

波長スペクトルの半値幅を変化し、該半値幅内に含まれる発振縦モード数の複数化を行うとともに、このときの反射率の高低に対応して第1反射膜側あるいは第1反射膜側に部分回折格子を設けるようにしているの、発振波長スペクトルの半値幅内に含まれる発振縦モードの複数化を適切に行うことができるという効果を奏する。

【0130】また、請求項11の発明によれば、前記発振パラメータに、前記回折格子の結合係数を含めるようにし、該回折格子の結合係数を変化させることによって、発振波長スペクトルの半値幅を変化させ、該半値幅内に含まれる発振縦モード数の複数化を行うようにしているの、発振波長スペクトルの半値幅内に含まれる発振縦モード数の複数化を容易に行うことができるという効果を奏する。

【0131】また、請求項12の発明によれば、ファイバグレーティングを用いない半導体レーザ装置を用いて該半導体レーザ装置の共振器が物理的に分離されていないため、光軸合わせなどを行う必要がなく、半導体レーザモジュールの組立が容易になるとともに、機械的振動などによってレーザの発振特性が変化しにくくなり、安定したレーザ光を信頼性高く、かつ安定して出力することができる半導体レーザモジュールを実現することができるという効果を奏する。

【0132】また、請求項13の発明によれば、ファイバグレーティングを用いない半導体レーザ装置を用いているため、インライン式のファイバ型と異なり、大型のアイソレータを使用することができ、挿入損失の小さい半導体レーザモジュールを実現することができるという効果を奏する。

【0133】また、請求項14の発明によれば、請求項1～11に記載の半導体レーザ装置、あるいは請求項12または13に記載の半導体レーザモジュールを広帯域ラマン増幅用の励起光源として用い、上述した各半導体レーザ装置あるいは各半導体レーザモジュールの作用効果を奏するようにし、安定かつ信頼性の高いラマン増幅を行うことができるという効果を奏する。

【0134】また、請求項15の発明によれば、請求項1～11に記載の半導体レーザ装置、あるいは請求項12または13に記載の半導体レーザモジュールを、広帯域ラマン増幅用の励起光源であって、前方励起用光源あるいは双方向励起方式における前方励起用光源として用い、上述した各半導体レーザ装置あるいは各半導体レーザモジュールの作用効果、特にRINが低いという作用効果を有効利用し、安定かつ信頼性の高いラマン増幅を行うことができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態1である半導体レーザ装置を斜めからみた破断図である。

【図2】図1に示した半導体レーザ装置の概要構成を示す長手方向の縦断面図である。

【図3】図1に示した半導体レーザ装置のA-A線断面図である。

【図4】図1に示した半導体レーザ装置の発振波長スペクトルと発振縦モードとの関係を示す図である。

【図5】単一発振縦モードと複数発振縦モードとのレーザ光出力パワーの関係および誘導ブリルアン散乱の閾値を示す図である。

【図6】この発明の実施の形態2である半導体レーザ装置の概要構成を示す長手方向の縦断面図である。

【図7】この発明の実施の形態2の第1変形例である半導体レーザ装置の概要構成を示す長手方向の縦断面図である。

【図8】この発明の実施の形態2の第2変形例である半導体レーザ装置の概要構成を示す長手方向の縦断面図である。

【図9】図6に示した半導体レーザ装置に対応する半導体レーザ装置の発振波長スペクトルの計測結果を示す図である。

【図10】図6に示した半導体レーザ装置に対応する半導体レーザ装置のI-L特性を示す図である。

【図11】回折格子にチャープドグレーティングを適用した場合における発振波長スペクトルを示す図である。

【図12】この発明の実施の形態3である半導体レーザ装置の概要構成を示す長手方向の縦断面図である。

【図13】図12に示した回折格子の周期揺らぎを示す図である。

【図14】この発明の実施の形態3における回折格子の周期揺らぎを実現する変形例を示す図である。

【図15】この発明の実施の形態4である半導体レーザモジュールの構成を示す縦断面図である。

【図16】温度制御に用いられる制御関数の一例を示す図である。

【図17】図16に示した制御関数を用いた場合における発振波長の駆動電流依存性を示す図である。

【図18】この発明の実施の形態5であるラマン増幅器の構成を示すブロック図である。

【図19】図18に示したラマン増幅器の応用例を示すブロック図である。

【図20】駆動電流300mAを加えた場合における周波数0.1~15GHzの相対強度雑音の雑音スペクトルを示す図である。

【図21】図18に示したラマン増幅器の変形例であって、前方励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。

【図22】図21に示したラマン増幅器の応用例を示すブロック図である。

【図23】図18に示したラマン増幅器の変形例であって、双方向励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。

【図24】図23に示したラマン増幅器の応用例を示す

ブロック図である。

【図25】図18、図19、図21~図24に示したラマン増幅器を用いたWDM通信システムの概要構成を示すブロック図である。

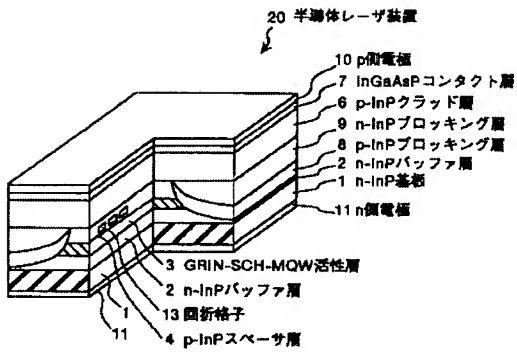
【図26】従来のラマン増幅器の概要構成を示すブロック図である。

【図27】図26に示したラマン増幅器に用いた半導体レーザモジュールの構成を示す図である。

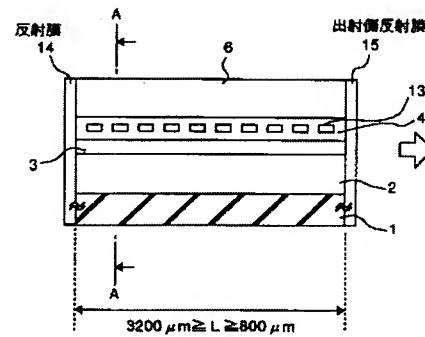
【符号の説明】

- 1 n-InP基板
- 2 n-InPバッファ層
- 3 GRIN-SCH-MQW活性層
- 4 p-InPスペーサ層
- 6 p-InPクラッド層
- 7 InGaAsPコンタクト層
- 8 p-InPブロッキング層
- 9 n-InPブロッキング層
- 10 p側電極
- 11 n側電極
- 20 13, 43~47 回折格子
- 14 反射膜
- 15 出射側反射膜
- 20, 51 半導体レーザ装置
- 30 発振波長スペクトル
- 31~33 発振縦モード
- 50, 60a~60d, 60a'~60d' 半導体レーザモジュール
- 52 第1レンズ
- 53, 63, 66 アイソレータ
- 30 54 第2レンズ
- 55 光ファイバ
- 56 モニタフォトダイオード
- 57 ベース
- 57a ヒートシンク
- 58 ペルチェモジュール
- 58a サーミスタ
- 59 パッケージ
- 61a, 61b, 61a', 61b' 偏波合成カプラ
- 62, 65, 62', 65' WDMカプラ
- 40 64 増幅用ファイバ
- 67 モニタ光分配用カプラ
- 68 制御回路
- 69 信号光入力ファイバ
- 70 信号光出力ファイバ
- 71 偏波面保持ファイバ
- 81, 83 ラマン増幅器
- LG グレーティング長
- K_{LG} 結合係数
- P_{th} 閾値

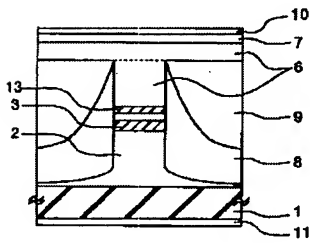
【図1】



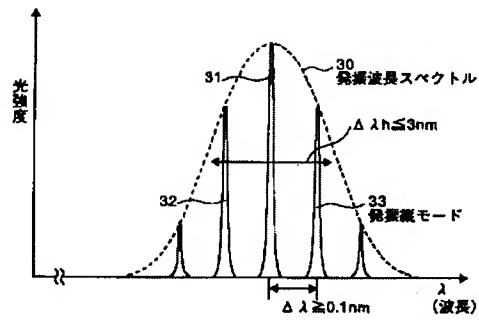
【図2】



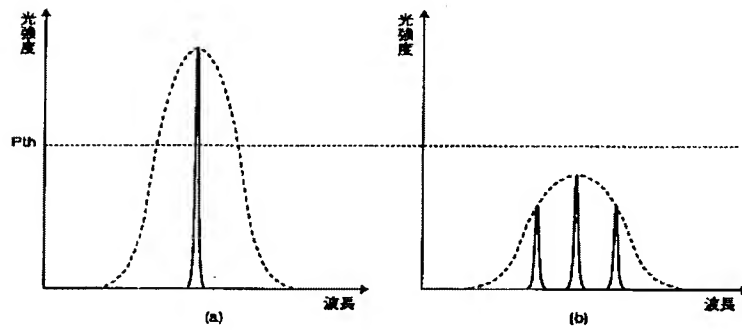
【図3】



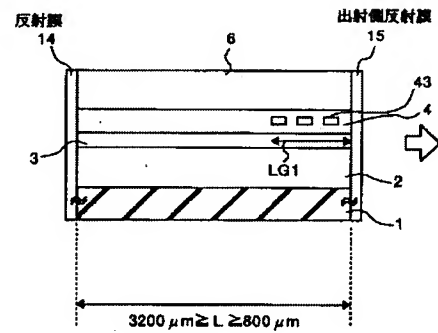
【図4】



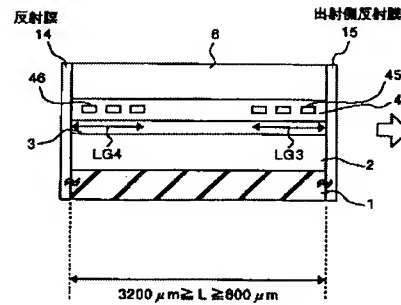
【図5】



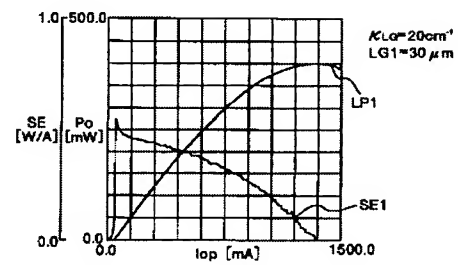
【図6】



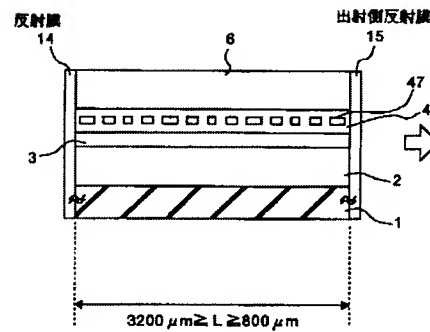
【图 8】



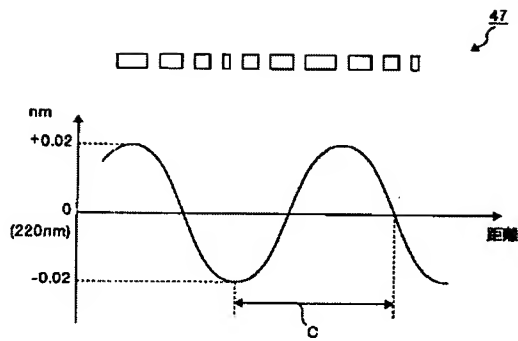
【図 10】



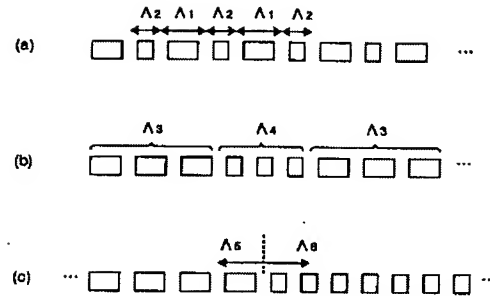
【图 12】



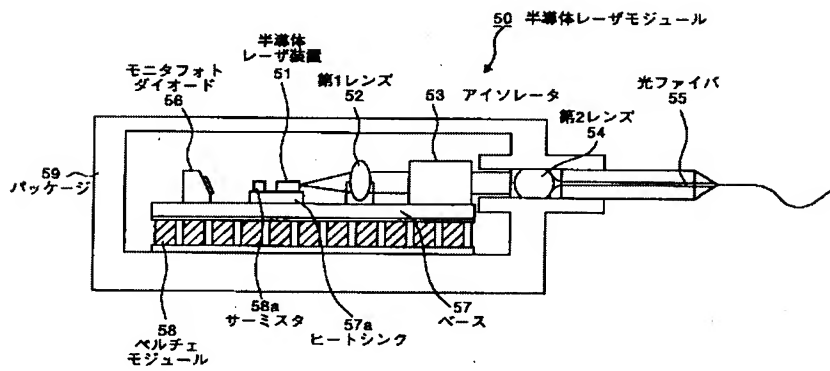
【図13】



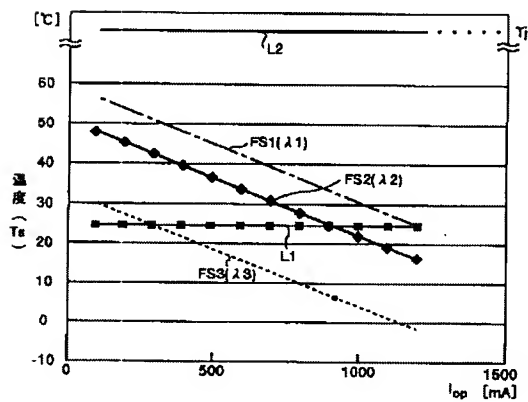
【図14】



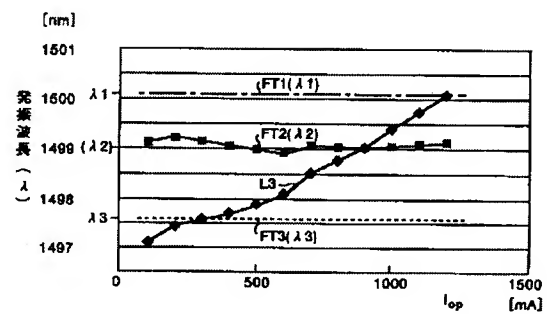
【図15】



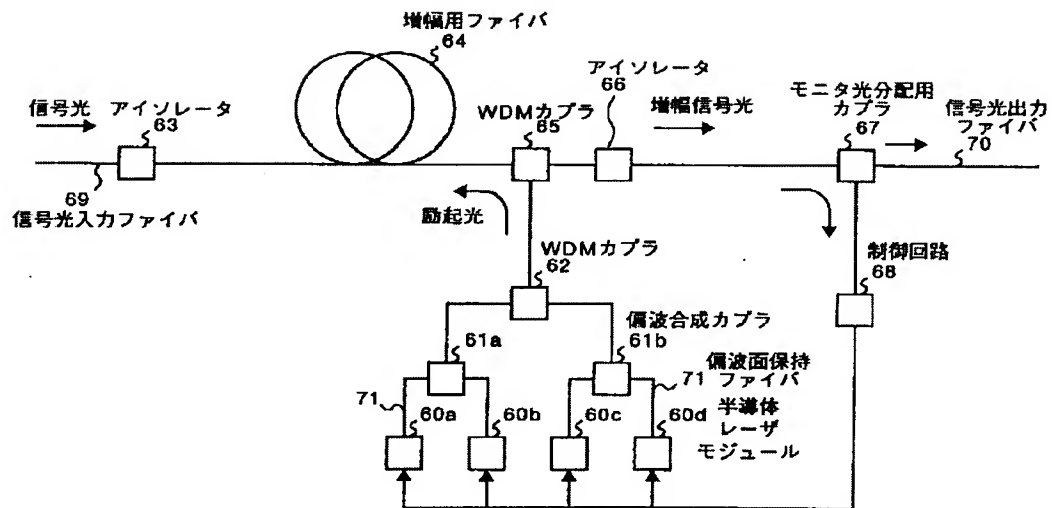
【図16】



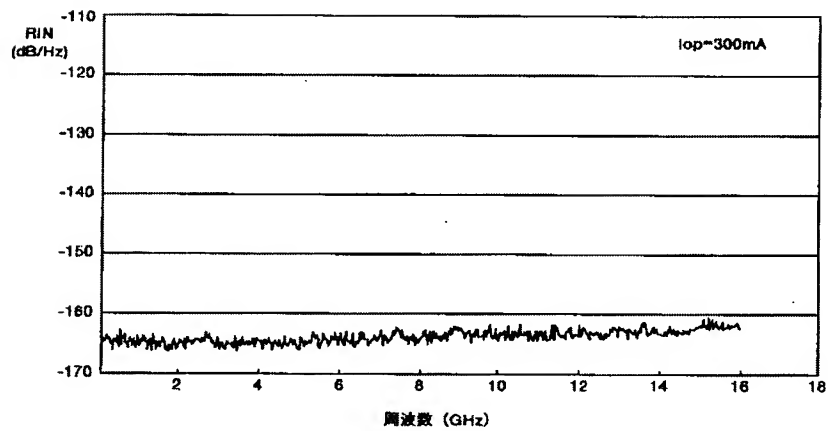
【図17】



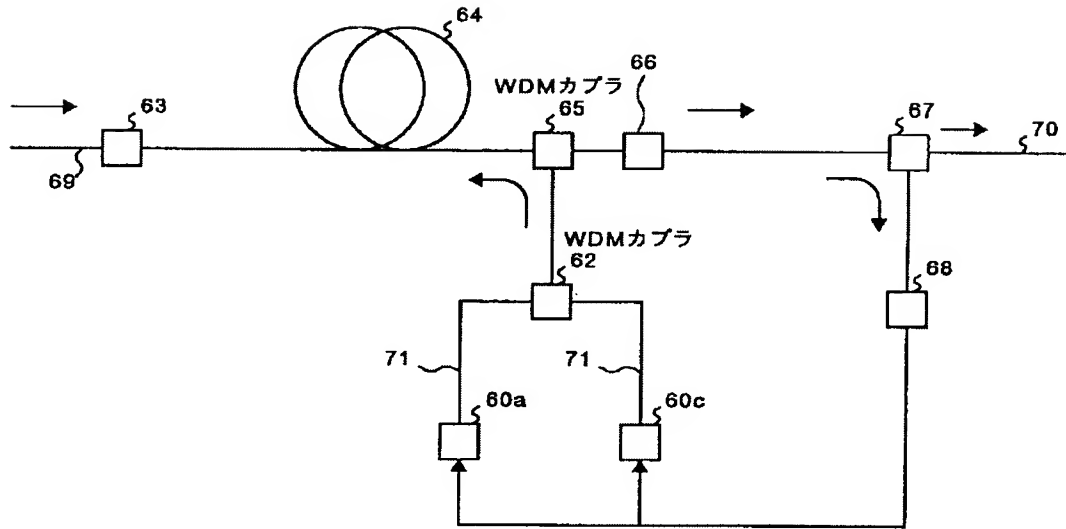
【図18】



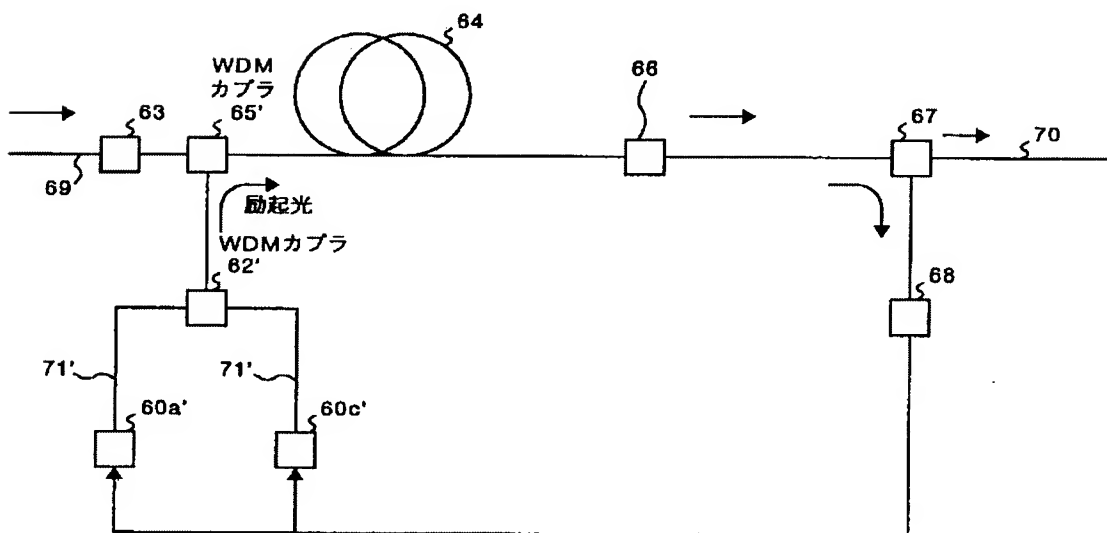
【図20】



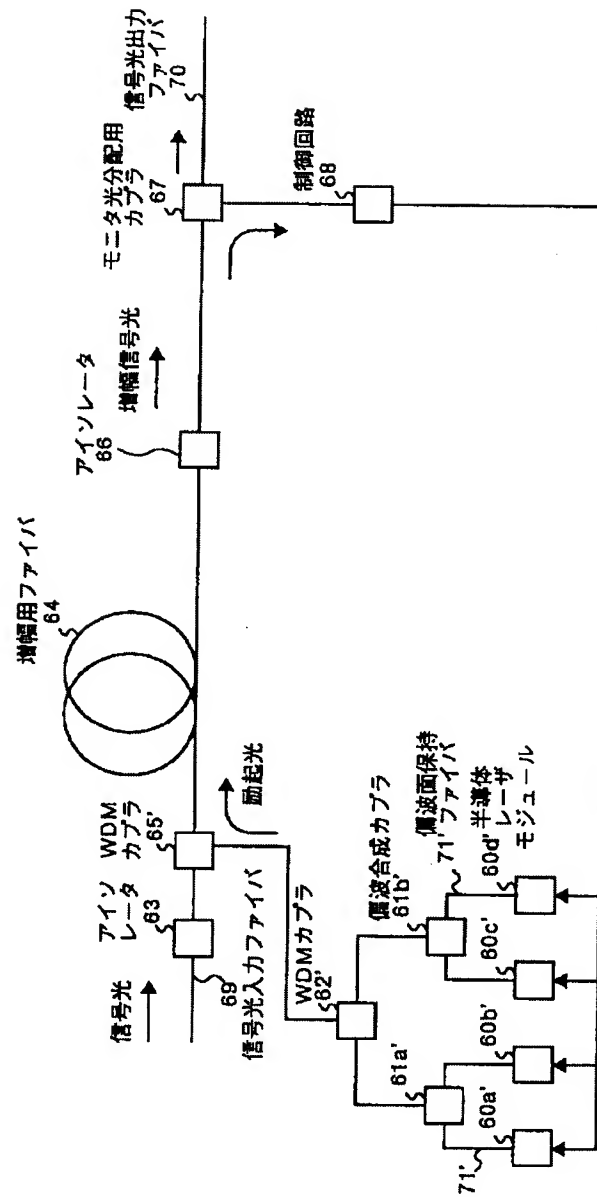
【図19】



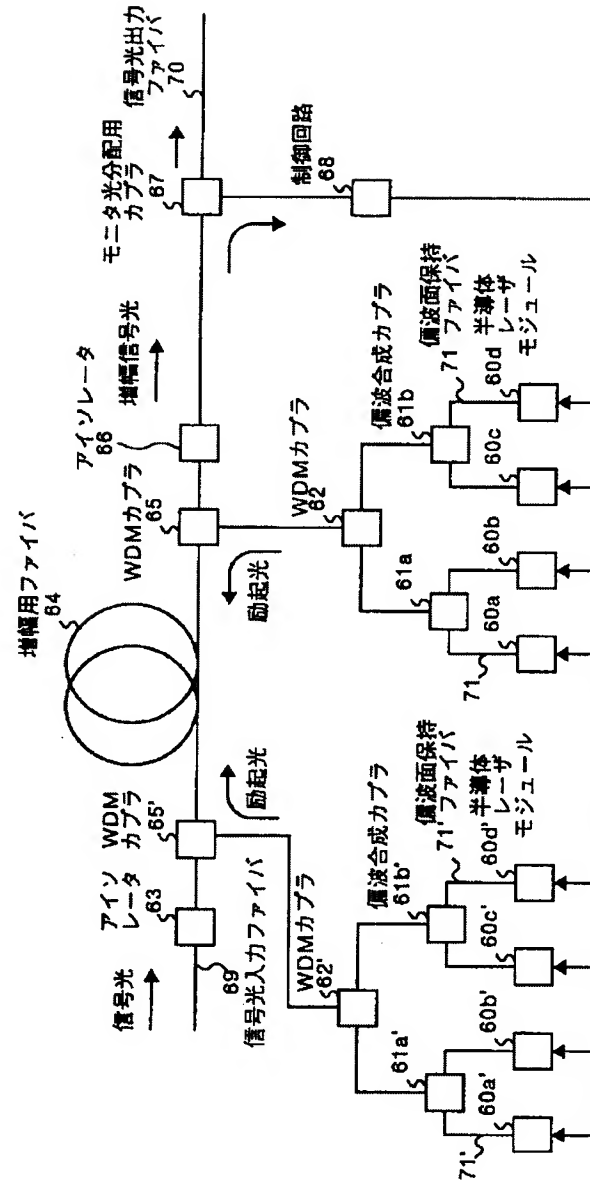
【図22】



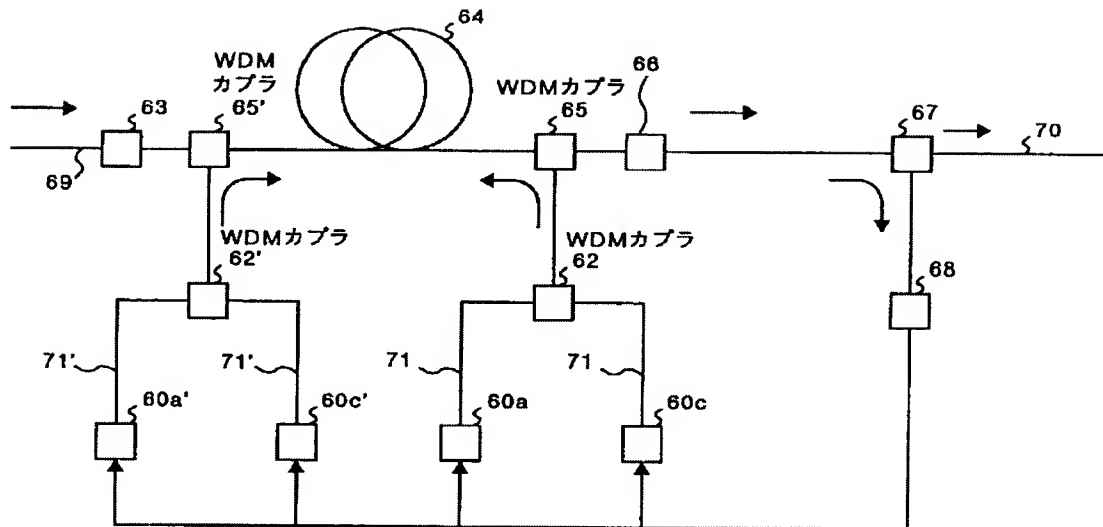
【図21】



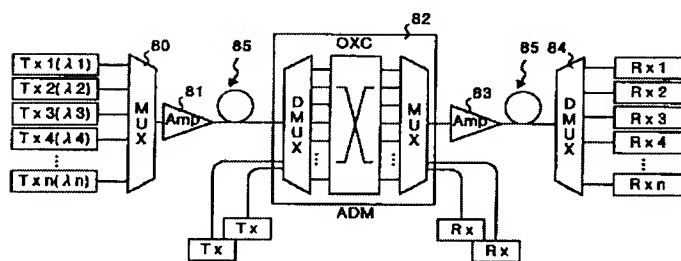
【図23】



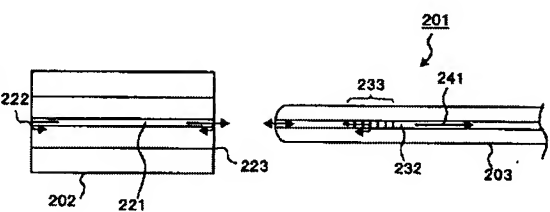
【図24】



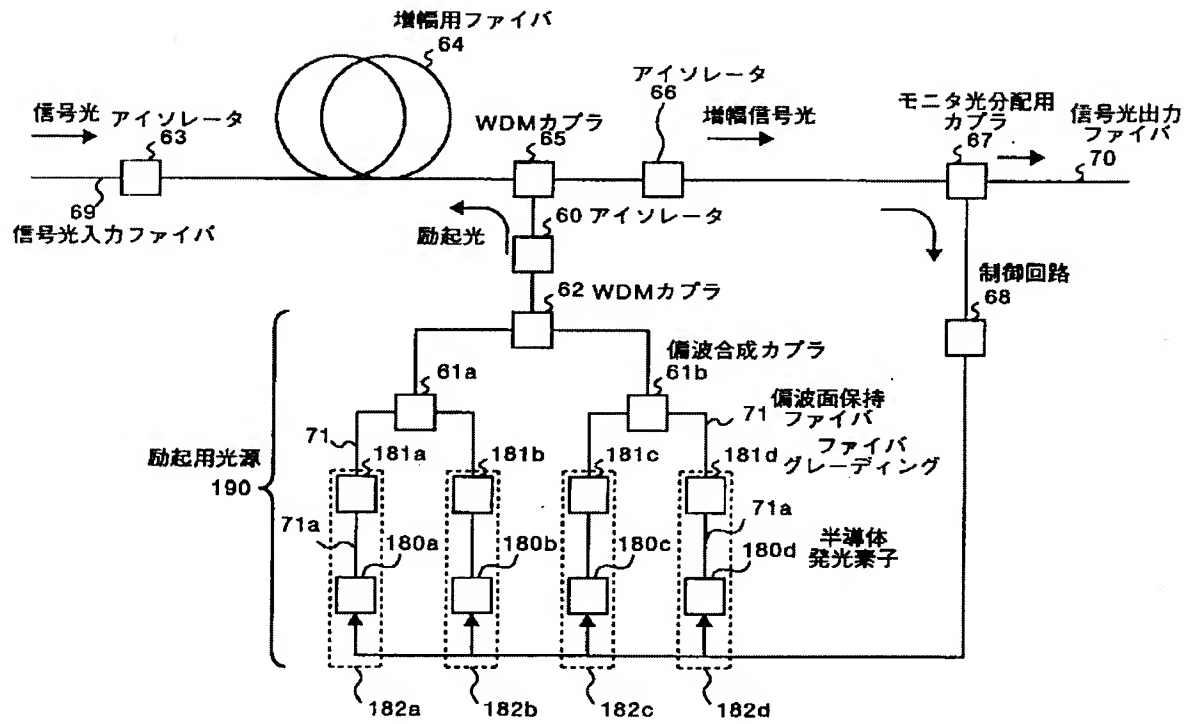
【図25】



【図27】



【図26】



フロントページの続き

(72)発明者 舟橋 政樹
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内

Fターム(参考) 2H037 AA01 BA03 DA38
2K002 AA02 AB30 BA01 DA10 GA05
HA23
5F073 AA46 AA65 AA74 AB27 AB28
AB30 BA03 CA12 CB02 EA01
FA14 FA25